Laborator DEFECTOSCOPIE

Lucrarea 1

Controlul prin examinare vizuală

1. ***Denumirea metodei***: EXAMINAREA VIZUALĂ (*VT* - *Vizual testing*)

2. ***Tipul de examinare***: optic; în examinarea vizuală instrumentul optic de mare complexitate, este ochiul omenesc, iar în examinarea optico-vizuală se folosesc accesorii optice, pentru prelungirea funcţiei vizuale şi creşterea sensibilităţii metodei sau pentru accesul în zone inaccesibile vizual.

3. ***Agentul de investigare***: lumina vizibilă - radiaţia electromagnetică, în spectrul vizibil, cu lungimi de undă cuprinse între 380 nm şi 740 nm, obţinută de la o sursă de lumină.

4. ***Fenomenul fizic de bază***: reflexia luminii provenită de la sursă pe suprafaţa obiectului examinat.

5. ***Modul de aplicare***: obţinerea unor informaţii prin iluminarea obiectului controlat şi receptarea imaginilor de către ochiul omenesc prin observare directă (examinarea vizuală) sau ajutat de aparate optice (examinare optică).

6. ***Domeniul de utilizare***: orice obiect, semifabricate, piese finite, asamblări, statice sau în mişcare. Depistarea deformaţiilor, rupturilor, fisurilor, porilor şi inclu-ziunilor de suprafaţă, defectelor de formă în general.

7. ***Indicaţia de defect***: imagini virtuale receptate sau reale, înregistrate pe fotografie sau pe bandă video.

8. ***Materialul obiectului controlat***: oricare.

9. ***Particularităţi***:

Principala caracteristică a unui operator care lucrează în examinarea optico- vizuală este *acuitatea vizuală* - capacitatea ochiului de a remarca detaliile cele mai mici sau de a le diferenţia forma. Pentru ochiul normal, în condiţii optime, acuitatea vizuală este de 1'. Acuitatea vizuală medie este de 2 - 4'. La acuitatea vizuală de 2' la distanţa de vedere bună (250 mm) ochiul poate deosebi detalii cu dimensiuni mai mici de 0,15 mm. Cea mai înaltă acuitate vizuală se obţine la un diametru al pupilei de 3-4 mm, ceea ce corespunde unei iluminari de la 100 până la 1000 lucsi. Se consideră că acuitatea vizuală a unui om este în limite normale (cu sau fără ochelari sau alte corecţii medicale), dacă ochiul distinge defecte de tip fisuri cu deschideri de 0,07...0,15 mm, de la o distanţă de 250 de mm şi în condiţiile unei iluminări corespunzătoare.

10. ***Scheme de principiu*** - pentru efectuarea examinării directe, accesul trebuie să fie suficient pentru amplasarea ochiului la cel mult 600 mm de suprafaţa de examinat şi la un

unghi nu mai mic de aproximativ 30^0. In figura 1.11 este prezentată schema de principiu a examinării vizuale, cu evidenţierea domeniului unghiular de observare, câmpul vizual util.

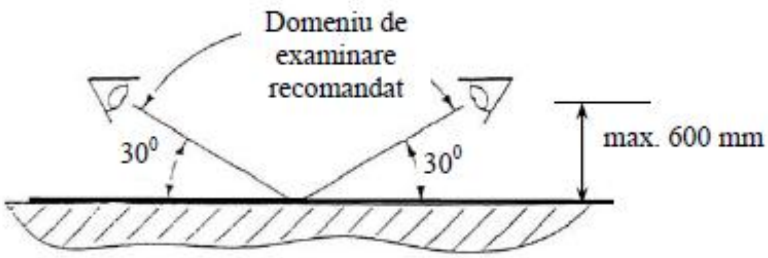


Fig. 1.11. Schema de examinare vizuală.

11. ***Echipament de bază*** – în examinarea optico-vizuală se folosesc instrumente optice, dintre care, cele mai uzuale, sunt: lupe (fig. 1.12), microscoape, endoscoape periscoape, binocluri, telescoape.

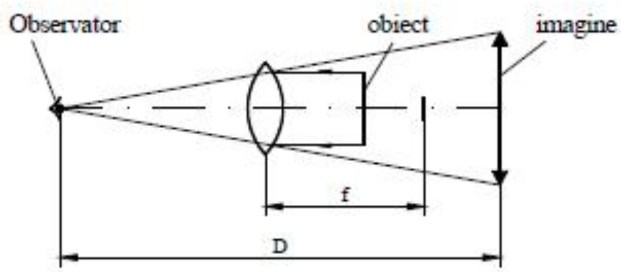


Fig. 1.12. Schema de principiu a unei lupe.

Lupa formează *imaginea virtuală,* dreaptă şi mărită a obiectelor plasate între focar, situat la distanţa *f*, şi planul principal al obiectului. *Grosismentul lupei* sau *puterea de mărire* se defineşte ca raport între mărimea aparentă a imaginii şi mărimea aparentă naturală (mărimi ale imaginii formate pe retină, atunci când ochiul priveşte obiectul prin aparat, respectiv liber, de la distanţa minimă a vederii clare). În figura 1.13, este prezentată o imagine preluată în timpul examinării optico-vizuale a unei cusături sudate, cu o lupă cu mărire 2x.



Fig. 1.13. Examinarea cu lupa a unei cusături sudate.

Grosismentul lupelor utilizate în domeniul examinărilor nedistructive variază între 2 şi 8x. Mărirea maximă la utilizarea unui microscop este de 40x. Pentru examinarea suprafeţelor interioare sau a unor componente incluse în structuri, care împiedică examinarea directă, se folosesc diverse instrumente care deviază şi transmit lumina reflectată de suprafaţa analizată.

Adesea aceste instrumente sunt asociate cu aparate fotografice sau camere de luat vederi. Principalele instrumente optice folosite în acest scop sunt endoscoapele, în diverse soluţii constructive.

Schemele de principiu ale unor endoscoape fixe sunt prezentate în figurile 1.14 şi 1.15.

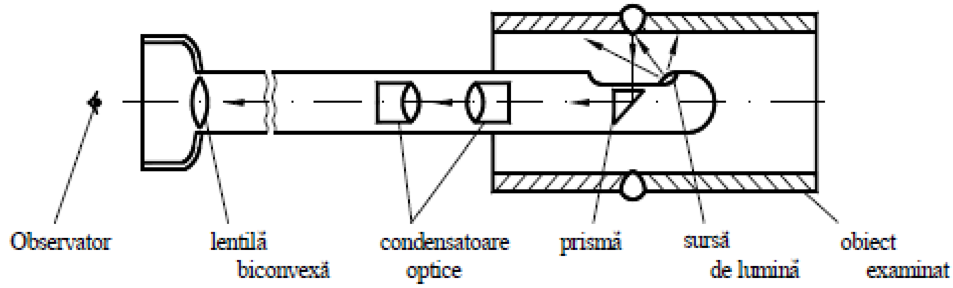


Fig. 1.14. Schema de principiu a unui endoscop.

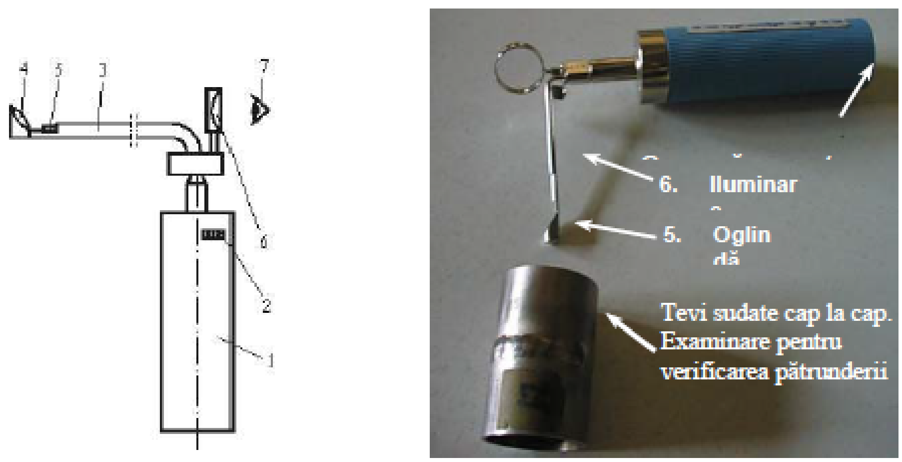


Fig. 1.15. Schema şi fotografia unui endoscop (boroscop): 1 - mâner (suport baterii); 2 – întrerupător; 3 - tijă schimbabilă; 4 - oglindă; 5 - lampă cu halogen; 6 - lentilă schimbabilă; 7 – ochi.

Lumina reflectată de rădăcina unei cusături sudate este deviată de o prismă, care schimbă direcţie de propagare a razelor de lumină din plan vertical, în plan orizontal. Razele deviate trec apoi succesiv printr-un ansamblu de elemente optice (condensatoare, filtre etc.), care au rolul de a împiedica împrăştierea fasciculului de lumină reflectat de obiectul de examinat, ajungând la observator.

12. ***Observaţii şi recomandări***

Normele actuale consideră că iluminarea este corespunzătoare atunci când are valori între 500 şi 1000 lx. O iluminare sub 350 lx este nesatisfăcătoare, dar şi o iluminare prea puternică, peste 2000 lx, conduce la rezultate slabe.

Practic, iluminarea necesară se realizează prin amplasarea unei lămpi cu incandescenţă de 100 W la o distanţă de 0,2 m, respectiv un tub fluorescent de 80 W la o distanţă de 1 m de suprafaţa iluminată. În acest fel se asigură o iluminare de 500…600 lx.

Pentru a examina optico-vizual o suprafaţă a unui obiect, este necesar să se ia următoarele măsuri:

- asigurarea accesului liber la suprafaţă prin îndepărtarea tuturor obiectelor care deranjează observarea; folosirea unei oglinzi poate ajuta la observarea unor zone greu accesibile;
- îndepărtarea materialelor care pot masca discontinuităţile: murdărie, rugină, zgură, cruste, arsură, stropi, urme de vopsea etc.

Din punct de vedere istoric, se poate afirma cu certitudine că prima metodă de examinare nedistructivă folosită de om a fost cea vizuală.

Examinarea vizuală se poate regăsi în aproape toate celelalte metode de examinare cum ar fi, de exemplu: examinarea radiografiilor în examinarea cu radiaţii penetrante, examinarea imaginilor date de pulberile magnetice sau a indicaţiilor de defect oferite de lichidele penetrante.

Examinarea vizuală directă se caracterizează prin simplitate, cost relativ scăzut, uşurinţă în aplicare, dar necesită un nivel înalt de competenţa din partea operatorului, cunoştinţe interdisciplinare care să permită interpretarea corectă a informătiilor vizuale.

Cauzele care au determinat un anumit grad de neglijare a acestei metode ar putea fi explicate prin câteva aspecte care, uneori au diminuat încrederea în rezultatele obţinute, şi anume:

- dependenţa rezultatelor, în mod adesea subiectiv, de operator şi de nivelul de conştiinciozitate şi de competenţă ale acestuia;
- o anumită modă a aparatelor;
- depedenţa deciziilor de acuitatea vizuală a operatorului, care variază de la o persoană la alta şi la aceeaşi persoană, în funcţie de vârstă;
- necesitatea unei curăţări prealabile corespunzătoare a suprafeţei obiectului care este supus examinarii, suprafaţă ce trebuie, concomitent, să fie iluminată adecvat, în domeniul spectrului vizibil şi să fie situată la o anumită distanţă care să permită examinarea.

Lucrarea 2

Controlul cu lichide penetrante

1. PARTICULARITĂTI

Metoda de control cu lichide penetrante este cunoscută şi aplicată sub formă rudimentară (de exemplu: petrol cu praf de carbonat de calciu în amestec cu alcool) de peste un secol. Tehnicile moderne, într-o manieră similară celor folosite astăzi, se cunosc din preajma celui de-al doilea război mondial. Perfecţionările ulterioare îşi au originea în dezvoltarea aviaţiei, construcţiei de rachete, a tehnicii nucleare şi aerospaţiale.

Controlul cu lichide penetrante pune în evidenţă orice discontinuitate (imperfecţiune) de suprafaţă. Se poate aplica la orice material, formă şi dimensiuni de piesă în condiţii de hală sau şantier pe suprafeţe uscate, la temperaturi de peste 10 ÷ 15°C.

Metoda este productivă, ieftină, uşor de folosit, se pretează şi la controlul pe suprafeţe (lungimi) mari. Rezultatele sunt concludente, imediate şi uşor de interpretat. Indicaţiile provenite de la discontinuităţi sunt mărite prin absorbţia penetrantului de câteva ori.

Controlul cu lichide penetrante implică curăţirea chimică a suprafeţei de impurităti, operaţii de spălare postoperatorie, mai ales atunci când se aplică interfazic, în cursul depunerii succesive a straturilor de sudură. Limitări apar în anumite cazuri datorită faptului că unele reţete de lichide penetrante utilizează materiale inflamabile şi toxice, care reclamă măsuri corespunzătoare de spălare şi evacuare.

Probabilitatea de detectare a defectelor este cu atât mai mare cu cât gradul de prelucrare a suprafeţei examinate este mai fin. Metoda de control este relevantă pentru discontinuităţi cuprinse în intervalul 0,1 - 5 mm. La nivelul performanţelor maxime, nivelul de detectabilitate ajunge până sub un micron. Controlul cu lichide penetrante trebuie considerat ca o perfecţionare şi extindere în acelaşi timp a examinării vizuale. Controlul cu lichide penetrante a îmbinăritor sudate implică, ca şi controlul cu pulberi magnetice, examinarea unor zone de minimum 20 - 30 mm de o parte şi de alta în lungul sudurii, ceea ce prezintă avantajul de a evidenţia şi eventualele fisuri propagate în materialul de bază. El poate fi aplicat în diferite faze de execuţie. Limitările în aplicarea metodei pot fi cauzate numai de temperatură, întrucât penetranţii obişnuiţi nu pot fi folosiţi la temperaturi ce depăşesc 50°C. Există şi lichide penetrante speciale, cu punct de inflamabilitate de peste 250°C [22], care fac posibil controlul între straturi depuse la sudare sau placare.

Pentru controlul la temperaturi joase s-au elaborat penetranţi aplicabili până la - 35°C [10].

Controlul cu lichide penetrante se foloseşte cu rezultate bune şi în cazul placărilor şi al metalizărilor. Aria de întrebuinţare nu este practic limitată de felul materialului, putând fi utilizat la toate tipurile de oţeluri, fonte, aliaje de aluminiu şi magneziu şi, în general la metalele neferoase, precum şi la materiale amorfe, plastice, ceramice, sticlă etc.

Un domeniu de mare interes a metodei îl reprezintă controlul etanşeităţii produselor.

2. PRINCIPIU ŞI METODE DE CONTROL

Controlul cu lichide penetrante constă în aplicarea pe suprafaţa supusă controlului a unui lichid cu bune calităţi de penetrare în discontinuităţile superficiale şi evidenţierea acestora prin contrast cu ajutorul unui developant (figura 1). Penetrarea în discontinuităţile cele mai fine - pori, fisuri ş.a. - se produce datorită fenomenului de capilaritate. Developarea penetrantului are loc datorită efectului de absorbţie a developantului.

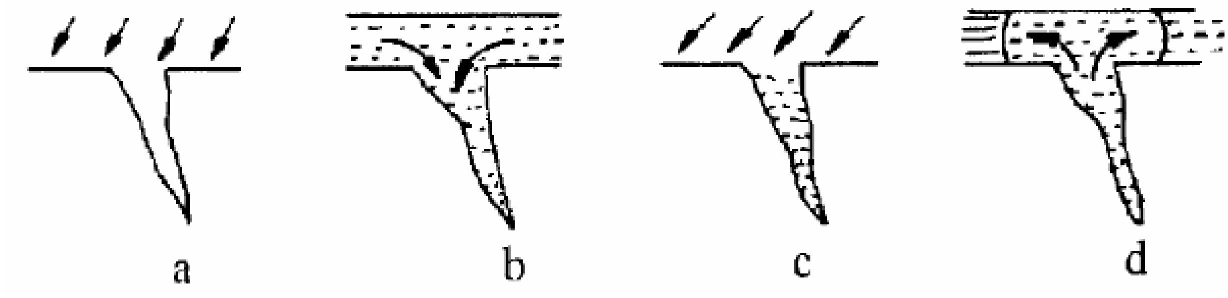


Fig 1. Principiul controlului cu lichide penetrante: a.- curățirea suprafeței: b.- aplicarea penetrantului şi infiltrarea în discontinuitate: c. - îndepărtarea excesului de penetrant: d - aplicarea developantului şi adsorbția penetrantului:

Controlul cu lichide penetrante pune în evidență în exclusivitate discontinuitățile deschise la suprafață, cum sunt: porii, fisurile, suprapunerile, lipsa de pătrundere îngust deschisă la suprafață, crestăturile marginale, exfolierile din materialul de bază, craterele. Relevante pentru controlul cu lichide penetrante sunt mai ales porii singulari şi fisurile, fie ele termice, fie de oboseală, care în majoritatea cazurilor sunt dificil decelate la controlul vizual. Suprafețele poroase sau zonele cu densitate ridicată de pori sau foarte rugoase, nu pot fi controlate eficient datorită dificultăților de interpretare a indicațiilor relevate. În principiu, piesele se supun controlului înaintea aplicării tratamentelor termice sau a prelucrărilor prin aşchiere întrucât, mai ales cele din urmă, pot masca sau chiar închide discontinuitățile mai fine.

Principalele metode de control cu lichide penetrante sunt următoarele:

a) Metoda colorării la care contrastul pentru relevarea discontinuităților este unul de culoare, de obicei roşu pe fond alb, este cea mai frecvent utilizată;

b) Metoda fluorescentă la care contrastul pentru relevarea discontinuităților este obținut prin strălucirea observată în lumină ultravioletă şi câmp de examinare negru; contrastul este de regulă galben - verde pe fond violet închis;

c) Metoda activării cu ultrasunete unde surplusul de energie de infiltrare a penetrantului folosit este asigurat cu ajutorul vibrațiilor ultrasonore şi emisia undelor elastice în mediul de penetrare sau de postemulsionare. O frecvență mai joasă măreşte capacitatea de pătrundere dar poate avea efecte perturbatorii sub 20 kHz.

Activarea cu ultrasunete se aplică mai ales în cazul controlului etanşeității produselor contribuind la învingerea forței de aderență şi forțarea procesului de infiltrare a penetrantului. Cu bune rezultate se foloseşte la spălarea suprafețelor capilare de materiale contaminate. Vibrațiile contribuie de asemenea la minimizarea duratei de penetrare.

d) Metoda cu trasor radioactiv, unde evidențierea discontinuităților se realizează prin impresionarea unui film radiografic aplicat în stare lichidă, de către substanțe radioactive conținute în mediul de penetrare.

Indiferent de felul penetrantului sau a developantului, controlul cu lichide penetrante comportă următoarele operații:

1. pregătirea suprafeței;
2. aplicarea penetrantului;
3. îndepărtarea excesului de penetrant;
4. aplicarea revelatorului;
5. examinarea suprafeței şi interpretarea rezultatelor;
6. marcarea pe piesă a locurilor defecte.

În cazul folosirii penetranților cu postemulsionare este necesară o fază suplimentară de adăugare a agentului emulgator după epuizarea timpului de pătrundere a penetrantului.

Componentele se livrează în seturi de flacoane de 250 - 500 ml. Consumul de soluții este de aproximativ un flacon de 350 cm^3 la 50 - 100 m cusătură sudată. Proporția consumului între degresant - penetrant - developant este funcție de starea suprafeței, în general în limitele de 2-

2,5:1,2:1. Pentru aplicații diferite de cea prin pulverizare, componentele se livrează la bidoane speciale.

3. CAPILARITATE ŞI FACTORI DE INFLUENȚĂ

3.1. Teoria tensiunii superficiale

Între moleculele stării lichide se exercită forțe de atracție, cunoscute sub denumirea de coeziune. Moleculele aflate la interfața lichid-solid (LS), respectiv la interfața lichid - gaz (LG), sunt supuse unui câmp de atracție asimetric, care tinde să micşoreze suprafața limită de separație. Ansamblul forțelor superficiale de atracție moleculară care se exercită pe unitatea de lungime a stratului limită dă naştere tensiunii superficiale.

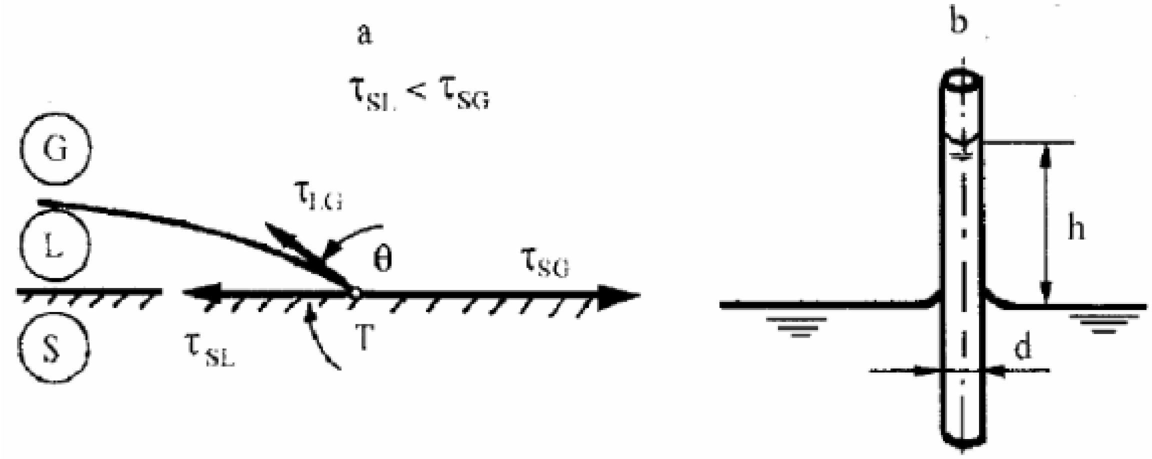


Fig. 2. Condițiii de capilaritate ale lichidelor tensioactive:
a. -echilibrul tensiunilor superficiale la tripla interfață:
b. - ridicarea lichidului în tubul capilar:

Asupra moleculelor aflate la interfața lichid - solid se exercită, pe de o parte forțele de coeziune intermoleculară proprii, iar pe de altă parte, forțele coezionale de atracție a mediului solid de contact. Acest joc al forțelor moleculare determină adeziunea lichidului pe suprafața solidului, care depinde de natura celor două substanțe şi în principal de tensiunile lor superficiale.

După cum rezultă din figura 2a, lichidele cu tensiune superficială τ_{LG} mică, aşa numite tensioactive, posedă o mare capacitate de umectare (întindere pe suprafață) şi un unghi mic de contact, θ. Pentru producerea umectării una din condițiile esențiale este ca între tensiunile superficiale ale straturilor limită solid - gaz. (τ_{SG}), respectiv solid - lichid (τ_{SL}), să se satisfacă inegalitatea:

$$\tau_{SG} > \tau_{SL} \quad (1)$$

La limita de separație a celor trei medii (punctul triplu T) din condiția de echilibru a tensiunilor superficiale rezultă:

$$\tau_{LG} . \cos\theta = \tau_{SG} - \tau_{SL} \quad (2)$$

unde unghiul θ este cuprins între 0 şi 10°.

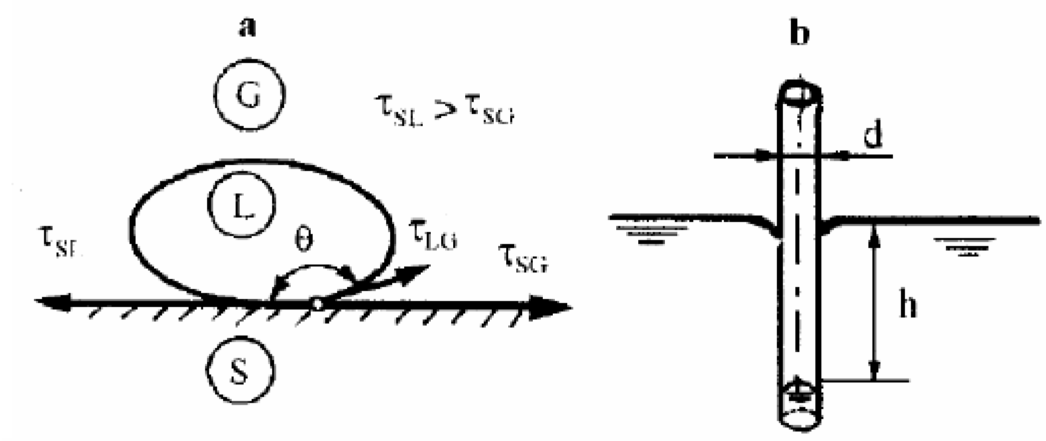


Fig. 3. Condițiii de capilaritate ale lichidelor tensioinactive:
a. - echilibrul terisiunilor superficiale la tripla interfață;
b. -coborârea lichidului în tubul capilar.

Pe de altă parte, datorită faptului că adeziunea la aceste lichide este superioară propriei coeziuni, ele posedă bune însuşiri de capilaritate (capacitatea de urcare în tuburi subțiri şi menisc concav), figura 2b. Înălțimea coloanei capilare variază invers proporțional cu diametrul, respectiv deschiderea discontinuității.Astfel, în cazul apei h = 30/d.

Lichidele cu tensiune superficială τ_{LG} mare, nu sunt umectabile şi formează în punctul triplu un unghi mare de contact ($\theta > 90^0$), care poate ajunge până la 170°, figura 3. În tubul capilar, coloana cu menisc convex se lasă sub nivelul lichidului în care este introdus tubul.

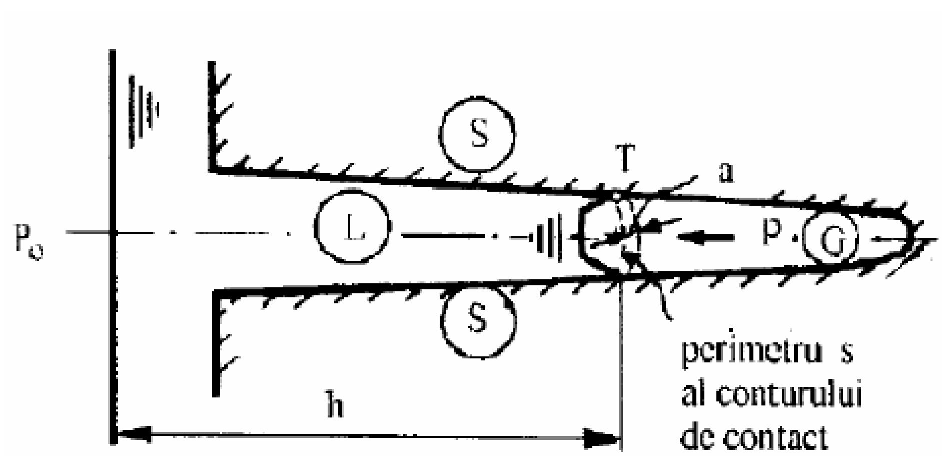


Fig 4. Pătrunderea lichidului tensioactiv în defect

În cazul unei discontinuități lichidul tensioactiv (L) pătrunde prin capilaritate şi comprimă gazul (G) din interiorul său, figura 4. Adâncimea de pătrundere h este determinată de egalitatea dintre forța de înaintare provenită din tensiunea sa superficială şi cea a forței care se opune înaintării prin mărirea presiunii interioare de la presiunea atmosferică p_0 la p. Ecuația de echilibru dintre cele două forțe poate fi scrisă sub forma:

$$(\tau_{SG} - \tau_{SL})ds - (p - p_0)a \cdot dh = 0 \qquad (3)$$

unde p este presiunea finală a gazului din vârful discontinuității, ds lungimea unui element de contur situat la tripla interfață la suprafața discontinuității, iar a, grosimea elementului de contur. Intrucât presiunea capilară:

$$p_c = p - p_0 = \rho \cdot g \cdot h \quad (4)$$

se poate scrie:

$$\tau_{LG} \cdot \cos\theta \cdot ds = p_c \cdot a \cdot dh \quad (5)$$

Dacă în continuare raportul ds/dh poate fi considerat constant (K), fiind în funcție de configurația discontinuității în care a pătruns lichidul tensioactiv, se poate stabili limita dimensiunii discontinuității minim detectabile:

$$a = \frac{K \cdot \tau_{LG} \cdot \cos\theta}{p_c} \quad (6)$$

Rezultă că adâncimea minimă detectabilă este invers proporțională cu presiunea capilară şi direct proporțională cu tensiunea superficială a lichidului penetrant.

Analiza relației (6) permite concluzii pertinente privind condițiile obținerii unei înalte sensibilități de detectare a defectelor cu lichide penetrante şi anume:

- utilizarea unor penetranți cu tensiune superficială cât mai mică, $\tau_{LG} \leq 0{,}1$ N/m;
- capacitate mare de umectare ($\theta \approx 0$; $\cos\theta \approx 1$);
- presiune capilară cât mai ridicată, ($p_c \approx 2 \cdot 10^5$ N/m^2); ea nu depăşeşte în general presiunea atmosferică mai mult de două ori;
- coeficient de formă cât mai mic (K = 2 ÷ 3,14 pentru forme care variază de la fisură la incluziune de gaz sferoidală).

Inlocuind valorile cele mai favorabile în relația (6), rezultă că teoretic discontinuitatea minim detectabilă este de aproximativ 2 - 3 microni, ceea ce corespunde limitei de sensibilitate stabilită şi experimental.

3.2. Factori de influență asupra capilarității

Din examinarea relațiilor (4), (5) şi (6) rezultă că posibilitățile de infiltrare a lichidelor penetrante în discontinuități fine depind în principal de următorii factori:

1. tensiunea superficială a lichidului penetrant;
2. factorul de formă a discontinuității;
3. presiunea capilară;
4. temperatura suprafeței şi a lichidului penetrant, care afectează vâscozitatea şi tensiunea superficială;
5. presiunea atmosferică.

Capacitatea de infiltrare a lichidelor penetrante este influențată suplimentar şi de câtiva factori de natură mecanică şi chimică. Dintre aceştia rugozitatea suprafeței interioare a discontinuității si/sau obturarea mecanică a sectiunii capilare produc o mărire a unghiului de contact 0 şi ca urmare micsorarea forței de infiltrare.

Straturile interioare de oxizi, având o energie superficială mai mare decât metalul curat $\tau_{OG} > \tau_{SG}$ micşorează unghiul de contact, deoarece relația (2) este înlocuită de relația:

$$\tau_{LG}\cos\theta_0 = \tau_{OG} - \tau_{OL} \quad (7)$$

şi cum $\cos\theta_0$ trebuie să fie mai mare decât $\cos\theta$, rezultă $\theta_0 < \theta$. Aşadar, dacă nu se produce o obstrucție mecanică cu modificarea secțiunii şi a coeficientului de formă K, suprafața oxidată în interior ajută la pătrunderea capilară.

În cazul contaminării suprafeței interioare a discontinuității cu lichide rezultă o mărire a tensiunii superficiale şi a unghiului de contact θ, a amestecului ce se formează între penetrant şi lichidul respectiv. Urmarea directă este micşorarea capacității de pătrundere a penetrantului. Apa conținută

în penetrant sau absorbită din aer, apa folosită la îndepărtarea excesului de penetrant solubil în apă, precum şi emulsificatorul utilizat în sistemele cu post-emulsionare, produc acelaşi efect defavorabil.

Penetrantul contaminat cu praf şi particule coloidale, îşi pierde din capacitatea de infiltrare tot datorită măririi unghiului de contact.

Reducerea tensiunii superficiale a lichidului penetrant se obţine şi prin aditivare cu agenţi superficiali activi şi se exprimă prin relaţia:

$$\Delta\tau = \tau_{LS} - nkT \qquad (8)$$

de unde rezultă că eficienţa respectivă este influenţată pe de o parte de concentraţia superficială **n** a substanţei absorbite şi de temperatura absolută T, k fiind constanta lui Boltzmann egală cu $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/°K. O altă sursă serioasă de contaminare a penetrantului o reprezintă substanţele organice, de exemplu uleiurile, grăsimea şi vopseaua, frecvent dispuse pe suprafaţa pieselor. Ele provoacă serioase neajunsuri dacă nu se degresează în mod corespunzător, deoarece pot obtura discontinuităţile. Cum majoritatea lor se dizolvă în lichidul penetrant, rezultă o mărire a vâscozitaţii acestuia, o reducere a contrastului şi o deteriorare a sistemului de emulsionare în cazul folosirii penetranţilor cu postemulsionare.

4. CARACTERISTICILE LICHIDELOR PENETRANTE

Lichidele penetrante se clasifică după următoarele criterii:

a) după contrast - se cunosc:
- penetranţi coloraţi;
- penetranţi fluorescenţi;
- penetranţi combinaţi coloraţi şi fluorescenţi;
- penetranţi radioactivi.

b) după solubilitate - se cunosc:
- penetranţi solubili în apă (PSA), de tip 1, după normele ASTM [2];
- penetranţi solubili în solvenţi organici (PSO), de tip 3, după normele ASTM [2];
- penetranţi cu postemulsionare (PPE), de tip 2, după normele ASTM [2].

Cel mai frecvent sunt utilizaţi penetranţii coloraţi şi fluorescenţi solubili în apă.
Se menţionează însă că penetranţii solubili în solventi organici sunt calitativ superiori celor solubili în apă. Penetranţii fluorescenţi sunt recomandaţi în cazul observării unor discontinuităţi liniare foarte fin deschise datorită contrastului superior creat prin strălucirea în câmp întunecat. Strălucirea este însă negativ influenţată prin expunere îndelungată în lumină naturală sau la raze ultraviolete înainte de examinarea propriu-zisă, sau la temperaturi de peste 60°C.

Penetranţii cu postemulsionare (PPE) sunt penetranţii care pot fi spălaţi cu apă numai după adăugarea unui agent emulgator.

Compoziţia lichidelor penetrante variază în limite largi. Penetranţii au în componenţă un solvent organic clorurat sau neclorurat, un agent umectant şi un colorant fluorescent sau roşu. Pentru a obţine pe de o parte penetrabilitatea necesară, iar pe de altă parte o sensibilitate şi o reproductibilitate superioară la examinarea suprafeţelor, penetranţii trebuie să posede o vâscozitate cinematică cât mai scăzută şi cât mai puţin influenţată de temperatură. Ei trebuie să asigure în acelaşi timp şi condiţii corespunzătoare de lavabilitate şi de adeziune, spre a nu fi îndepărtaţi cu prea mare uşurintă din locurile defecte. După [6], vâscozitatea dinamică optimă pentru satisfacerea celor două condiţii este de 3 - 5 cP (centiPoise) la temperatura de 30°C pentru penetranţii solubili în apă, iar după [27], de cca. 9,5 cP la temperatura de 38 - 40°C, la penetranţii cu postemulsionare.

**UM-CGS - vâcozitate dinamică - poise - 1P =0,1Pa-s = 0,1 Ns/m*
***UM-CGS - vâscozitate cinematică - stokes - 1 St = 10 4 m^2/s*

Vâscozitatea cinematică a lichidelor este influenţată în principal de temperatură, scăzând exponenţial odată cu creşterea acesteia. La temperaturi sub 10-15°C nu se mai asigură o capilaritate

corespunzătoare, iar la temperaturi de peste 60-70°C componentele volatile ale penetranților obişnuiți se evaporă mărind astfel vâscozitatea, scăzând capacitatea de absorbție a developantului şi modificând substanțial contrastul. Rezultatele optime ale controlului se obțin în domeniul de temperatură 25 - 40°C.

Dependența de temperatură a vâscozitătii cinematice la principalii penetranți pe bază de petrol utilizați în defectoscopie este de formă exponențială, fiind prezentată după [11] în figura 5.

Alături de condițiile de vâscozitate se subliniază şi importanța posedării unei tensiuni superficiale cât mai mici pentru a facilita pătrunderea prin efect de capilaritate în cele mai fine discontinuități de material. Totodată penetrantul trebuie să asigure bune însuşiri de contrast, stabilitate la lumina zilei, respectiv la raze ultraviolete.

Cantitatea de apă tolerată în penetranți PSA este în funcție de tipul penetrantului, fiind de regulă sub 5%, cu toate că există şi soluții la care cantitatea tolerată ajunge la 20%. Mărirea cantității de apă provoacă micşorarea vâscozității, a concentrației şi contrastului developantului. Efectele se fac simțite prin condensul format din atmosferă. Aşa se explică necesitatea limitării temperaturii minime de folosire a penetranților.

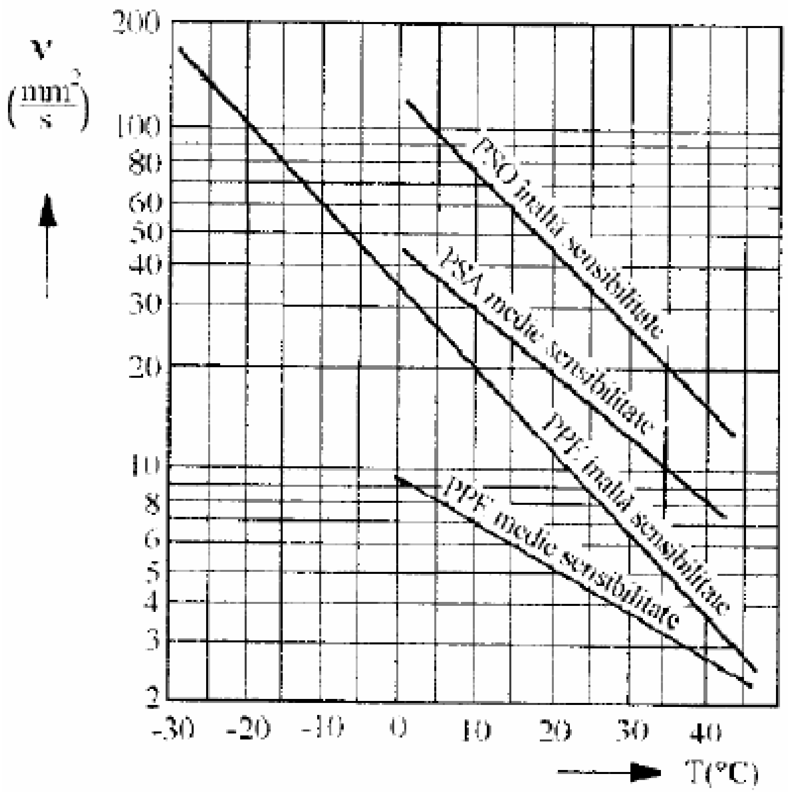


Fig 5. Variația vâscozității cinematice a lichidelor penetrante cu temperatura.

Atât penetranții, cât şi developanții trebuie să îndeplinescă condiția de a nu fi acide sau bazice, spre a evita reacții chimice cu materialul de bază. De asemenea, trebuie să prezinte un punct de inflamabilitate cât mai ridicat, şi anume la cei folosiți pentru controlul la temperaturi normale de minimum 80 - 90°C. Astăzi se livrează în mod curent penetranți cu punct de inflamabilitate situat la 150°C, lipsiți de halogeni şi sulf. Calitatea substanțelor întrebuințate se verifică după reguli precizate în [30], atât la recepție, cât şi în timpul folosirii lor.

La controlul oțelurilor inoxidabile austenitice, respectiv a aliajelor de nichel, este obligatorie limitarea conținutului de sulf şi de halogeni a penetranților şi developanților la 0,5% [1].

Conținuturi de halogeni peste această limită şi mai ales în clor, pot cauza coroziunea sub tensiune a metalelor respective. Conținuturile mari de sulf sunt dăunătoare în special oțelurilor aliate cu nichel, putând cauza reacții cu eliberare de hidrogen, ceea ce provoacă mărirea susceptibilității la fragilizare.

5. MECANISMUL FORMĂRII ZONEI INSOLUBILE ŞI A PENETRANTULUI CAPTIV

După pătrunderea prin mecanismul de capilaritate a lichidului penetrant în discontinuităţile superficiale, urmează operaţia de spălare şi îndepărtare de pe suprafaţa piesei a surplusului de penetrant, iar în cazul penetranţilor cu postemulsificare, depunerea agentului emulgator. În aceste condiţii, dacă se analizează efectele produse în interiorul discontinuităţii se constată formarea a trei zone distincte prezentate în figura 6.

Zona (a) de pătrundere a lichidului penetrant prin capilaritate, zona (b) de infiltrare a agentului emulgator care reacţionează cu penetrantul pe o anumită adâncime, în care se produce şi difuzia penetrantului în emulgător, şi zona (c) de pătrundere a apei provenite de la spălarea excesului de penetrant solubil în apă în care este inclusă şi o subzonă de aglomerare a amestecurilor de substanţe. Zona de reacţie a penetrantului captiv cu lichidul de postemulsionare formează zona insolubilă.

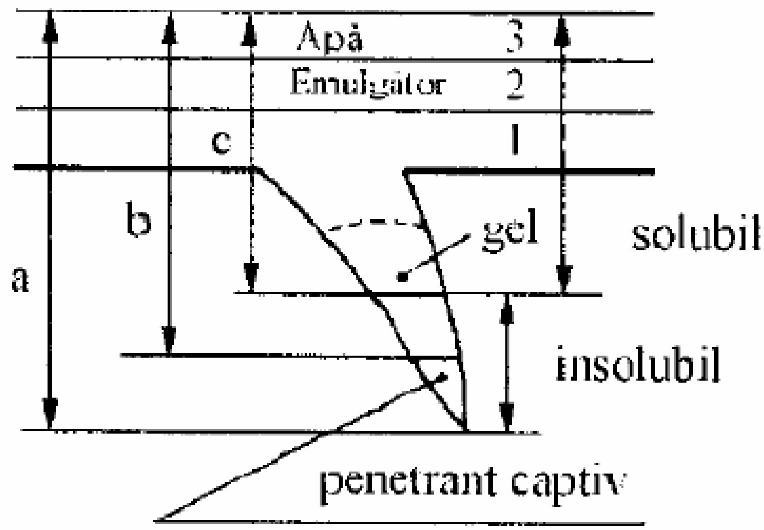


Fig. 6. Zone distincte formate la suprafaţa şi în interiorul unei discontinuităţi examinate cu lichide penetrante cu post-emulsionare;

Formarea şi stabilitatea zonei insolubile este esenţială pentru metoda de examinare cu lichide penetrante, deoarece în lipsa ei nu s-ar mai putea obţine indicaţii de defect prin mecanismul de absorbţie a penetrantului captiv de către developant. Extinderea sau grosimea stratului lichid al penetrantului captiv şi a zonei insolubile este considerat ca unul din parametrii de performanţă. Ea depinde de raportul dintre vâscozitatea penetrantului şi indicele de emulsificare.

Rezultă că penetranţii greu emulsificabili având indicele de emulsificare 1 ÷ 1,1 sunt cei mai eficienţi. Dintre aceştia fac parte penetranţii conţinând răşini macromoleculare siliconice, poliesterice sau vinilice, precum şi cei care conţin alchilfenoli şi derivaţi ai acestora.

În cazul penetranţilor conţinând agent emulsificabil, folosiţi cel mai frecvent în tehnicile de control, extinderea zonei de penetrant captiv în discontinuitate, figura 7, depinde de intensitatea procesului de difuzie a solventului în cazul întrebuinţării de penetrant solubil în solvent organic (figura 7a), respectiv de gradul procesului de difuzie a apei, dacă pentru penetrare se întrebuinţează penetrant solubil în apă (figura 7b).

Penetranţii sub formă de spray-uri conţin şi inhibitori de dizolvare în substanţele fotosite la spălare - îndepărtare a excesului de penetrant cu solvenţi organici. Acest lucru se realizează prin utilizarea unui solvent slab şi prin utilizarea unor soluţii mutual miscibile.

Penetranţii sub formă de spray-uri solubili în apă folosesc pentru micşorarea solubilităţii modificarea sinergică a raportului hidrofilice/lipotilice, prin reducerea componentei hidrofilice, micşorarea solubilităţii prin evaporarea solventului sau/şi prin mărirea cantităţii de gel.

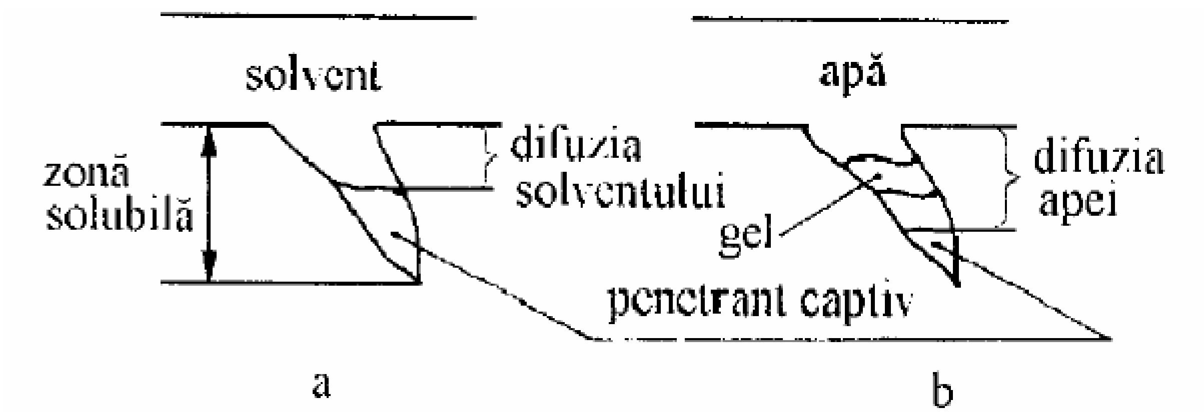


Fig. 7. Formarea zonei de penetrant captiv la examinarea cu penetranți autoemulsificabili:
a. - solubili în solvent organic;
b. - solubili în apă;

6. MECANISMUL DE DEVELOPARE A PENETRANTULUI

Lichidul penetrant rămas în discontinuități după îndepărtarea excesului de pe suprafața piesei examinate trebuieşte absorbit la suprafață pentru a obține prin contrast de culoare sau contrast fluorescent, indicația de defect. Acest rol îl îndeplineşte developantul, care asigură următoarele funcții (figura 8):

1. absorbția restului de penetrant captiv în discontinuități;
2. fixarea penetrantului şi lățirea indicației pe măsura măririi grosimii stratului;
3. formarea şi îmbunătățirea contrastului dintre penetrant şi developant.

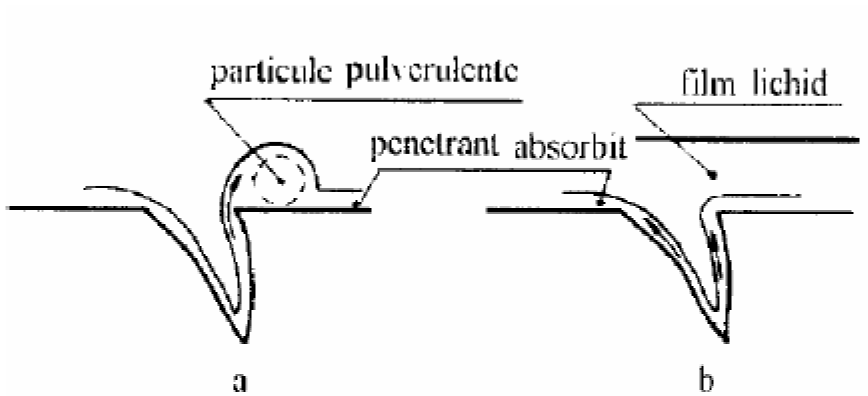


Fig. 8 Developarea penetrantului:
a. cu developant conținând particule pulverulente;
b. cu developant lichid;

Pentru ca absorbția să albă loc, presiunea de absorbție trebuie să depăşească presiunea capilară cu o cantitate necesară punerii în mişcare a lichidului. Presiunea de adeziune a penetrantului la developant p_D poate fi exprimată de relația presiunii capilare:

$$p_D = K_D \cdot \tau_{LS} \cdot \cos\theta_D / d_D \qquad (9)$$

unde d_D este diametrul particulelor developantului. Admitând o formă sferieă $K_D = \pi \cdot d_D$ şi ca urmare:

$$p_D = \pi \cdot \tau_{LS} \cdot \cos\theta_D \qquad (10)$$

de unde se concluzionează că acțiunea developantului depinde de unghiul său de contact θ_D cu materialul examinat. Cum presiunea de adeziune trebuie să fie cât mai mare ca penetrantul să exudă din discontinuitate, este necesar ca $\theta_D < \theta$, iar $\tau_{LD} > \tau_{LS}$.
Scriind relația:

$$\tau_{LS}(1 + \cos\theta_D) = \tau_{LS} \cos\theta_D \cdot ds/dh \qquad (11)$$

rezultă:

$$(1 + \cos\theta_D)/\cos\theta_D = ds/dh - K_D = \pi d_D \qquad (12)$$

Punând condiția $\theta_D = 0°$ se obține diametrul optim al particulelor developantului:

$$d_D = 2/\pi \cong 0{,}6\ \mu m \qquad (13)$$

Experimentări comparative cu diferite substanțe developante au scos în evidență performanțele developanților cu silicați pirolitici sub formă de particule sferice neporoase, de dimensiuni submicroscopice, care absorb cantități foarte mici de lichid penetrant pe întreaga suprafață exterioară a acestor particule.

Actiunea de absorbție a penetrantului captiv din discontinuități a căror suprafață interioară este acoperită cu o crustă având o energie superficială apropiată sau mai mare decât a developantului, de exemplu stratul de penetrant neîndepărtat provenit de la o examinare anterioară, este mult diminuată. Presiunea acestei cruste la care se adaugă presiunea capilară pot să exceadă presiunea developantului blocând formarea indicației de defect. În acelaşi fel influențează suprafețele oxidate, carburate sau nitrurate, deşi după cum s-a văzut factorii respectivi facilitează infiltrarea penetrantului.

7. CARACTERISTICILE DEVELOPANTULUI

Developanții sunt de trei feluri:

- developanți pulbere uscată care se aplică prin pulverizare;
- developanți suspensie în apă sau în solvenți;
- developanți de soluții apoase.

Cel mai freevent sunt utilizați developanții de suspensie în solvent clorurat, cu toate că developanții pulbere uscată oferă o sensibilitate superioară de detectare a discontinuităților [6].
Toti developanții obişnuiți au o rezistență foarte mică la spălare, ceea ce reclamă mânuirea îngrijită a piesei înainte de observarea discontinuităților şi interpretare.
Developanții trebuie să asigure pe cât posibil modificarea proprietătilor de absorbție într-un timp relativ scurt [1], pentru a inhiba lățirea exagerată a indicației de discontinuitate şi a o contura în consecință cât mai exact. Trebuie să asigure totodată contrastul pe alb, să posede o densitate corespunzătoare şi o distribuție uniformă a particulelor în suspensie, precum şi rezistență la contaminarea cu penetranți.
In funcție de concentrația developantului, strălucirea penetrantului absorbit creşte exponențial în domeniul $10 \div 1000\ Cd/m^2$, [11].

8. TEHNOLOGIA CONTROLULUI

Controlul cu lichide penetrante presupune parcurgerea unei succesiuni de operații relativ simple de a căror acuratețe însă depinde rezultatul şi mai ales capacitatea de interpretare a indicațiilor de discontinuitate (defect).

8.1. Curățirea suprafeței. Surse de contaminare a indicațiilor

Sursele de contaminare a suprafeței piesei la examinarea cu lichide penetrante sunt:

a) prezența stratului de substanță organică - ulei, grăsimi;

b) straturi protectoare de vopsea;
c) pelicula de apă sau condens;
d) crustă de oxizi, exfolieri, zgură;
e) resturi active de acizi sau baze;
f) resturi de lichide penetrante rămase din examinări anterioare;
g) tratamente superficiale de fosfatare, cromare, brunare etc.;
b) suprafețe reliefate şi/sau având o rugozitate excesivă.

Efectele constau în acoperirea discontinuităților, în cazul surselor de sub b, d şi g, reducerea concludenței indicațiilor de discontinuitate, în cazul surselor c şi e, micşorarea efectului de fluorescență în cazul surselor de tip e, falsificarea efectului menționat în cazul surselor de tip a, obținerea unor indicații false, în cazul surselor d şi h, etc. Prezența apei în discontinuități provoacă mărirea tensiunii superficiale şi prin aceasta reducerea capacitații de infiltrare a penetrantului. Acelaşi efect este produs în prezența lichidelor post-emulsificatoare neîndepărtate corespunzător.

Suprafața de contact trebuie să fie uscată şi curățită de oxizi, zgură, nisip, şpan, grăsimi, uleiuri, vopsea şi alte impurități. Suprafețele oxidate cu zgură sau nisip favorizează indicațiile false. Suprafețele acoperite cu grăsimi, uleiuri, vopsele nu permit sau îngreunează pătrunderea penetrantului în defecte, iar suprafețele umede diluează lichidul penetrant. Controlul este neconcludent dacă suprafața de examinare nu este uniformă şi prezintă oxizi, exfolieri, rizuri etc. [28]. În vederea prevenirii închiderii discontinuităților se recomandă evitarea curățirii mecanice şi sablarea.

Metodele cele mai propice de curățire sunt:

- insuflarea cu aer sub presiune, şi/sau
- spălarea cu jet de apă pentru îndepărtarea impurităților mecanice;
- spălarea cu solvenți organici pentru îndepărtarea impurităților organice (grăsimi, uleiuri, vopsele);
- spălarea cu detergenți, care nu reacționează cu materialul controlat, pentru îndepărtarea impurităților organice;
- decaparea cu baze încălzite sau acizi; această operație se va evita în cazul controlului cu penetranți fluorescenți, întrucât soluțiile decapante influențează luminiscența.

După spălare se recomandă uscarea suprafețelor cu jet de aer cald, deoarece solvenții rămaşi în discontinuități obturează, respectiv influențează pătrunderea penetrantului. Firmele furnizoare livrează de obicei seturi de flacoane, care pe lângă penetranți şi developanți conțin şi solvenții necesari pentru spălare - degresare.

8.2. Aplicarea penetrantului

Penetrantul poate fi aplicat prin pulverizare mecanică la înaltă presiune cu aer comprimat sau cu spray-uri, imersare cu pensula sau prin pulverizare electrostatică.

Prima metodă este cea mai economică şi asigură o depunere uniformă. Pulverizarea electrostatică asigură cel mai subțire film de penetrant, ceea ce determină o acuratețe superioară în aplicarea metodei. Temperatura suprafeței trebuie să fie de minimum 5÷15°C. Sensibilitatea examinării poate fi mărită dacă suprafața este încălzită la cel mult 50÷60°C, întrucât discontinuitățile se dilată, iar presiunea din interiorul lor scade, favorizând capilaritatea.

Dacă temperatura suprafeței controlate este cuprinsă în intervalul 5÷15°C, durata de pătrundere trebuie să crească de 2 - 3 ori, în cazuri punctuale se reglează tehnologia potrivit indicațiilor de la paragraful 9. Controlul la temperaturi sub 5°C trebuie evitat, [28].

Piesele de controlat se vor poziționa astfel încât să se minimalizeze scurgerile.

Timpul de penetrare este în funcție de: calitatea penetrantului, materialul examinat şi temperatură, iar la temperatura ambiantă este cuprins în general **între 5 şi 20 de minute**. La materialele plastice, ceramice, sticlă, timpul de penetrare este la limita inferioară: la materialele

metalice, piese turnate, forjate sau laminate, la limita superioară. In cazul oțelurilor austenitice crom-nichel, timpul de penetrare va fi de 1 ÷ 2 ore.

Penetranții cu postemulsionare folosesc două tipuri de agenți emulgatori, care fac posibilă îndepărtarea ulterioară a excesului de penetrant de pe suprafața controlată şi anume: emulgator hidrofil, pe bază de apa şi/sau emulgator lipofil, pe baza de ulei. Emulgatorii lipofili difuzează în penetrantul pe bază de solvent organic. Viteza de difuzie este funcție de vâscozitate. Emulgatorii cu o vâscozitate ridicată, încadrată în limitele 60 ÷ 100 cSt, au nevoie de o durată de difuzie de cca. 3 - 4 min.

Emulgatorii de mică vâscozitate cuprinsă în limitele 30 ÷ 50 cSt, necesită durate de difuzie de până la cel mult 2 min.

Emulgatorii hidrofilici practic difuzează nesemnificativ în penetrant. Moleculele de detergent ale acestora acționeaza la suprafața piesei curățind progresiv prin acțiunea lor cinetică. Eficiența reacției este ridicată, ca urmare durata de penetrare foarte mică. Diluția în apă este de aproximativ 1 ÷250.

Emulgatorii se aplică după durata de penetrare peste pelicula de penetrant.

8.3. Îndepărtarea excesului de penetrant

Îndepărtarea stratului de penetrant în exces este o operație delicată, deoarece o spălare intensă conduce la scoaterea penetrantului din discontinuități falsificând rezultatul controlului, pe câtă vreme o spălare insuficientă face să rămână penetrant pe suprafață. Penetranții solubili în apă şi cei cu postemulsionare se **îndepărtează cu apă, prin clătire uşoară sau pulverizare oblică**, până la dispariția fondului colorat sau fluorescent. Se recomandă folosirea apei calde de maximum 50°C şi ştergerea prin tamponare curată fără scame.

Penetranții solubili în solvenți organici se îndepărtează prin operații succesive de ştergere cu tampoane curate. Suprafața se usucă prin evaporare naturală sau accelerată prin insuflare de aer cald.

8.4. Aplicarea developantului

Developanții pulbere se aplică prin presărare, pulverizare sau electrostatic, urmărindu-se obținerea unui strat cât mai fin şi mai uniform. **Developanții suspensie** se aplică prin pulverizare, imersare sau cu pensula. Se atrage atenția asupra faptului că depunerea unor straturi prea groase poate prejudicia procesul de developare în special în cazul discontinuităților foarte mici. Inainte de aplicare se recomandă agitarea pentru uniformizarea continutului.

Timpul de developare este aproximativ 50% din timpul prescris pentru penetrare, fiind indicat, ca şi timpul de penetrare, de către firma producătoare. În cazul în care se doreşte fixarea imaginii prin fotografiere, se recomandă folosirea unui developant special, rezistent la spălare. Dacă developantul nu este solubil în apă suprafața trebuie bine curățită şi uscată, operație care se consideră la fel de importantă în aplicarea unei tehnologii de calitate. Pentru a nu diminua fluorescența penetrantului absorbit, temperatura de uscare nu va depăşi 60°C.

8.5. Examinarea suprafețelor şi interpretarea indicațiilor

Examinarea suprafeței trebuie să înceapă **din momentul aplicării developantului** pentru a se evita indicațiile neconcludente datorate unei absorbții excesive a penetrantului la suprafața piesei. Totodată, trebuie excluse indicațiile false de defect provenite, fie din lipsa de experiență, fie din neglijență în aplicarea corectă a tehnologiei. În caz de dubiu, suprafața trebuie spălată cu grijă şi se repetă întregul ciclu.

8.5.1. Condiții de iluminare şi de adaptare

Suprafețele controlate cu **penetranți colorați** se examinează în lumină difuză, asigurându-se o iluminare de 300 - 500 lx, prin folosirea unui tub fluorescent de 80 - 100 W la distanță de cca. 1 m. În cazuri speciale iluminarea poate ajunge la 1000 lx.

Suprafețele controlate cu **penetranți fluorescenți** se examinează în lumină ultravioletă sau lumină neagră de lungime de undă 320 - 400 nm în încăperi slab luminate sau întunecate. Sursele de lumină neagră sunt: lampa incandescentă, lampa fluorescentă, lampa cu arc metalic sau de carbon şi lampa cu vapori de mercur, cel mai freevent folosită. Masa de examinare şi fondul trebuie să fie de culoare neagră.

Iluminarea obişnuită este de 10 - 20 lx şi rareori întrece 30 lx [28]. Valorile indicate oferă cel mai favorabil raport al luminiscenţei penetrantului fluorescent. Examinarea în lumină ultravioletă nu pune probleme deosebite de protecție, totuşi, dacă durata contactului cu lumina ultravioletă este de câteva ore, partea expusă trebuie protejată cu mănuşi sau prin ungere cu cremă.

Eliminarea factorilor subiectivi umani la examinarea suprafeței controlate şi la interpretarea defectelor impune respectarea următoarelor reguli referitoare la condițiile de control şi de observare vizuală:

- timpul de adaptare la controlul cu penetranți fluorescenți în încăperi întunecate trebuie să fie de cel puțin 10 minute;
- distanța de examinare se recomandă să fie 0,4 -0,5 m;
- cel puțin un ochi trebuie să asigure o vedere normală în câmp apropiat, apreciată la valoarea 1,0 cu ajutorul ortotipului şi o valoare de minimum 0,8 în câmp mijlociu (0,4 - 5 m) şi îndepărtat, [24];
- anomaliile de distingere a culorii determinate la anomaloscop trebuie să se încadreze, după [25], în limitele 1,4 > Ac > 0,7;
- capacitatea de adaptare la întuneric, capacitatea de menținere a acuității vizuale fără oboseală prematură, precum şi sensibilitatea la orbire trebuie să se situeze la niveluri normale.

Instructiuni de lucru pt controlul cu lichide penetranteconform standard EN 571Prezentele instructiuni se refera la sudura circulara in teava Ø89 x 3 mm material otel.Lampa cu lumina alba – la nevoie.Luxmetru.Materiale: Spray penetrant rosu, solubil in apa ,Spray penetrant removal, Spray develo pantTemperatura de lucru va fi intre 15 - 40°CSe va verifica starea suprafetei , care va trebui sa fie curata si uscata, lipsita de zgura, rugina, stropi desudura, crestaturi sau zgarieturi, ulei , grasimi, murdarie , vopsea etc. In caz contrar suprafata va ficuratata in mod corespunzator folosind mijloace mecanice sau chimice. Curatirea va trebui sa fieefectuata atat pe sudura cat si 50 mm de o parte si de alta a sudurii.Se va efectua si inspectia vizuala preliminara pt a observaDupa curatare suprafata va trebui sa fie uscata.In situatia in care temperatura nu este in limitele de mai sus, va fi efectuat test pentru verificareaeficacitatii penetrantului la temperatura de lucru.Examinarea va fi efectuata la lumina zilei. Se verifica iluminarea la nivelul suprafetei de examinat iarin cazul in care este sub 500lx va fi folosita o o lampa cu lumina alba auxiliara , la o distanta potrivitain asa fel incat iluminarea sa fie de cel putin 500lx.Se va identifica in mod corespunzator sudura notandu-se poansonul sudorului si id-ul sudurii.Se va agita tubul de penetrat si se va aplica un strat suficient de penetrant pe sudura si in ZIT, avand invedere ca sa fie complet acoperita toata zona de interes. Se va astepta timpul de penetrare urmarind casa nu se usuce penetrantul , mai ales in cazul temperaturilor ridicate si nici sa nu se scurga de pe piesa.Daca este necesar va fi aplicat un nou strat de penetrant , fara a fi necesara prelungirea timpului depenetrare.Odata incheiat timpul de penetrare, va fi indepartat excesul de penetrat cu o carpa curata, apoi va fiutilizata o alta carpa curata, umezita in apa sau in pe care s-a sprayat solventul,pana cand va fiindepartat complet excesul de penetrat si piesa nu v-a prezenta nici o urma vizibila de penetrant.Timpul de indepartare a excesului de penetrant nu trebuie sa fie exagerat de mare pentru a se evitauscarea penetrantului din discontinuitati. Acest lucru va fi avut in vedere in momentul in care se vorinspecta mai multe suduri in acelasi timp.Odata excesul de penetrant indepartat se va aplica prin pulverizare un strat uniform si subtire dedevelopant de la o distanta de ~ 20 cm. In prealabil chiar inaintea aplicarii developantului acesta va fienergic agitat pentru a fi omogenizata

suspensia. Suprafata va fi inspectatata preliminar ,chiar dintimpul uscarii developantului , pentru a observa momentul aparitiei indicatiilor si forma acestora- incazul discontinuitatilor cu deschidere mare la suprafata.Timpul de developare va incepe imediat dupa uscarea developantului.Dupa trecerea timpului de developare va fi efectuata interpretarea finala notandu-se pozitia, tipul(liniar, rotunjit, grupat) si dimensiunile indicatiilor relevante.Evaluarea finala si incadrarea in criteriile de acceptabilitate va fi efectuata de operator nivelul 2.Discontinuitatile neacceptabile vor fi marcate cu marker permanent in vederea repararii ulterioare.In legatura cu timpul de penetrare si cel de developare , tipic acestea sunt ~ 10 min penetrare si 20 mindevelopare insa vor fi respectate indicatiile producatorului cu prioritate.Pe langa datele privind discontinuitatile , in vederea emiterii buletinului vor fi inregistrate id-ul sudurii,dimensiunea, material,starea suprafetei, faza de fabricatie, tpul penetrantului folosit, producatorul ,lotul de fabricatie, data si locul testului , numele si semnatura operatorului.Daca se cere in specificatia produsului, se va proceda la curatarea post inspectie pentru a indepartadevelopantul de pe piesa

8.5.2. Indicații de discontinuitate

Prezenta unei cantități de penetrant pe fondul developantului indică posibilitatea existenței unei discontinuități, figura 9.

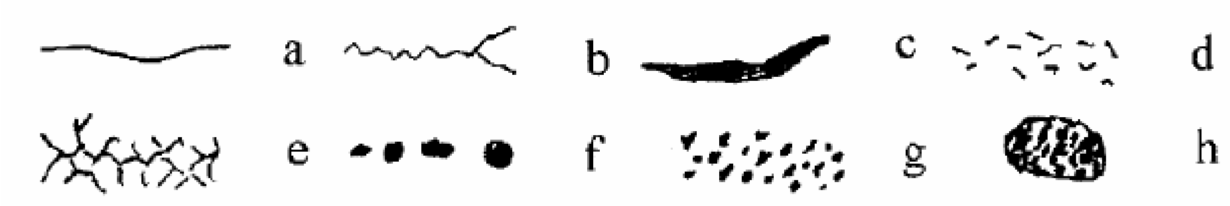


Fig. 9. Tipuri de indicații relevante pentru caracterizarea naturii discontinuităților

Indicațiile relevante se grupează în două categorii:
- indicații liniare;
- indicații rotunde sau eliptice;

Defectele liniare, cum sunt unele fisuri, suprapunerile şi lipsa de pătrundere, apar sub formă de linie continuă, care se lăteste în timp (figura 9a şi c). Fisurile termice fine apar sub formă de linie ramificată (figura 9b). Fisurile foarte fine, de oboseală, fisurile la rece, apar sub formă de linie fină continuă sau întreruptă (figura 9a).

Fisurile provenite în urma polizării apar scurte şi grupate pe o suprafață mică (figura 9d). Fisurile determinate de fenomenul de coroziune sub tensiune sunt grupate formând o rețea (figura 9e). Porii apar sub formă de puncte (figura 9f), grupare de puncte (figura 9g), sub formă de cuib (figura 9h) sau tentă de culoare. Discontinuitățile superficiale larg deschise sunt dificil de decelat pentru că în aceste cazuri fenomenul de capilaritate este estompat, obținându-se tente şi nuanțe de culoare. Mărimea discontinuității poate fi aproximată numai imediat după aplicarea developantului, recomandându-se însă evaluarea după curățirea piesei. Culoarea contrastului este în legătură cu adâncimea şi deschiderea discontinuității. Un contrast de roşu închis indică prezența unei discontinuități adânci şi mai larg deschise.

Dimpotrivă, un contrast de roşu spălăcit, indică o discontinuitate superficială, fină.

După marcarea poziției discontinuității urmează examinarea vizuală în vederea stabilirii naturii sale, iar apoi curățirea suprafețelor de penetrant şi developant.

Examinarea vizuală este necesară şi pentru evitarea interpretării eronate a unor indicații false provenite dintr-o aplicare necorespunzătoare a tehnologiei de curățire a suprafeței şi de relevare.

8.5.3. Influența prelucrărilor mecanice asupra indicațiilor de discontinuitate

Prelucrările mecanice de suprafață exercită un rol deosebit la controlul cu lichide penetrante. Influența lor este diferită şi depinde în cea mai mare măsură de felul materialului. Operația de

sablare cu nisip maschează unele indicații la oțelurile slab aliate pentru construcția de mașini. Urmările sunt însă mult mai grave la semifabricatele din titan unde există pericolul mascării totale a discontinuităților superficiale. Împroșcarea cu alice maschează integral discontinuitățile, atât la oțelurile pentru constructii mecanice, cât și la titan.

Rectificarea cu piatră reduce din contrastul indicațiilor la oțelurile cu conținut mai scăzut de carbon și le maschează aproape total la cele destinate construcțiilor mecanice.

Șlefuirea cu hârtie abrazivă de granulație 100 - 180, maschează parțial discontinuitățile la semifabricate din aluminiu și reduce contrastul indicațiilor la oțeluri slab aliate pentru construcții mecanice.

9. SENSIBILITA EA METODEI

Sensibilitatea metodei de control cu lichide penetrante poate fi definită, în funcție de factorul de amplificare a deschiderii discontinuității:

$$f_m = \frac{l_i}{l_d} \tag{14}$$

unde l_i este lățimea indicației developate iar la deschiderea reală a discontinuității, respectiv în funcție de factorul de amplificare a strălucirii indicației:

$$f_s = \frac{s_i}{s_f} \tag{15}$$

unde s_i este strălucirea indicației iar s_f este strălucirea fondului incintei de examinare.

Astfel, sensibilitatea geometrică este dată de relația:

$$s_g = \frac{f_m - 1}{f_m} \tag{16}$$

iar sensibilitatea optică, de relația:

$$s_0 = \frac{f_s - 1}{f_s} \tag{17}$$

Cum $f_s > f_m$, rezultă $s_0 > s_g$.

Sensibilitatea metodei de control cu lichide penetrante este suficientă pentru a putea detecta cu certitudine discontinuități cu deschideri de 0,1 - 5 mm. Folosind penetranți tixotropici de înaltă sensibilitate detectabilitatea poate ajunge până în domeniul 5 - 10 µm. Dacă cantitatea de developant depusă pe suprafața de controlat este prea mare, este posibilă diluarea excesivă a penetrantului și ca urmare o lipsă de contrast. Indicațiile de culori deschise, improprii penetrantului, denotă o curățire necorespunzătoare a suprafeței sau o spălare excesivă a penetrantului. În cazul unor indicații neconcludente, zona respectivă se degresează și se supune din nou controlului. Dispersia în ce priveste relevarea indicațiilor de defect datorită abaterilor tehnologice poate merge până la 40%. Sensibilități superioare se obțin cu ajutorul penetranților fluorescenți și în special cu penetranți tixotropici de înaltă sensibilitate, unde, în conditii speciale gradul de decelabilitate ajunge la 0,25 µm, [22].

Conform standardelor actuale sunt definite patru nivele de sensibilitate: minimă, medie, înaltă și foarte înaltă.

Probabilitatea de detectare a fisurilor este funcție de adâncimea defectului și de starea de prelucrare a suprafeței. Diferențele de probabilitate de detectare a defectelor pe suprafețe neprelucrate și suprafețe prelucrate prin așchiere sunt semnificative și în detrimentul suprafețelor neprelucrate pe tot intervalul 0 ÷ 5 mm, dar în același timp deosebit de pronunțate la discontinuitățile superficiale a căror adâncime nu depășește 1 - 2 mm.

Interpretarea corectă a naturii discontinuității presupune îndepărtarea developantului şi examinarea locului defect cu lupa. Indicațiile relevante se măsoară şi se marchează pe piesa examinată.
În cazul în care controlul se efectuează pe suprafețe având o temperatură în afara domeniului 15 - 50°C, este necesară etalonarea procedeului la temperatura respectivă. Etalonarea urmăreşte determinarea duratei de penetrare şi developare, care să permită prin comparație obținerea unor indicații similare cu cele obținute la temperaturi normale. În acest scop se foloseşte corpul de control ASME [17], figura 10, din aliaj de aluminiu laminat de tip 2024, [17].

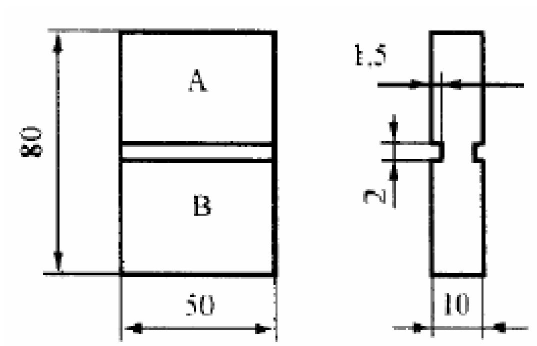


Fig 10. Bloc de comparație cu fisuri termice tip

Pe fiecare suprafață a corpului se va marca cu creion termocrom pentru 510°C o zona de ø 25 mm. Cele două suprafețe se vor încălzi cu flacăra la 510 - 520°C, de pe partea opusă, după care piesa se va răci brusc în apă pentru a se genera fisuri. Apoi, se prelucrează canalul de 2 x 1,5 mm pentru a delimita zonele A şi B. În continuare, corpul se va fotosi după cum urmează. Dacă temperatura suprafeței de examinat este peste 50°C, se încălzeşte zona B a corpului la temperatura respectivă şi se aplică tehnologia de control. În paralel, zona A se controlează la temperatura de 15 ÷ 30°C. Dacă temperatura suprafeței de examinat este sub 15°C, se răceşte zona B a corpului şi soluțiile folosite la temperatura respectivă şi se procedează în continuare ca în cazul precedent. Dacă, prin comparație, indicațiile de discontinuitate din zona A sunt similare cu cele din zona B, procedeul poate fi aplicat la temperatura respectivă în condiții identice.
Varianta superioară şi totodată mai simplă pentru stabilirea sensibilității controlului cu lichide penetrante, [l], [2], constă în folosirea unei plăcuțe din oțel inoxidabil având dimensiunile de 120 x 25 x 3 mm, figura 11, cromată dur pe una din suprafețele rectificate, cu un strat de cca 150 µm.

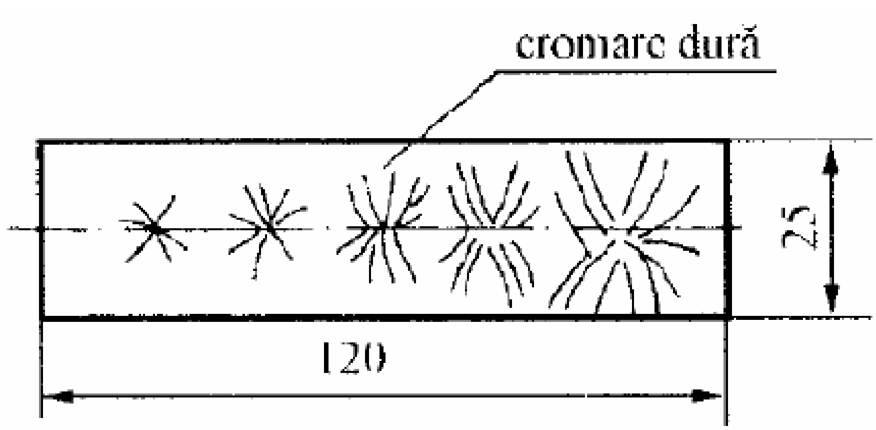


Fig 11. Plăcuță de comparație cu fisuri produse prin deformație plastică

Fisurile se amorsează prin deformarea plastică la rece a suprafeței cromate ca urmare a imprimării unei bile la aparatul de - duritate Brinell pe suprafața opusă celei cromate. în vederea obținerii unei variații de lățime şi de lungime a fisurilor amorsate, imprimarea se efectuează cu sarcini diferite, şi

anume: 2, 3, 4, 5 şi 6 kN. Astfel, în zonele corespunzătoare de pe suprafaţa cromată se generează fisuri cu lătimea variind între 1 ÷ 2 µm la nivelul sarcinii inferioare şi 8 ÷ 10 µm la sarcina maximă de imprimare. Orientativ, lăţimea fisurilor poate fi măsurată la microscop la fiecare etalon, în vederea stabilirii cât mai precise a sensibilităţii metodei. Pentru determinări comparative sau concomitente se recomandă utilizarea unui etalon similar de lungime dublă (240 mm) cu două şiruri de imprimări dispuse simetric.

Etaloanele de control se folosesc de asemenea, la verificarea calităţii (omogenităţii) loturilor de penetranţi sau la compararea diferitelor soluţii.

După DIN [26] corpul de control necesar stabilirii sensibilităţii de lucru a sistemului de control este confecţionat dintr-o placă de oţel inoxidabil de 2,5 x 50 x 150 mm prevăzută cu un orificiu de ø 5 mm, la distanţa de 10 mm faţă de margine.

Placa este cromată dur pe o parte pe o lungime de 100 mm cu un strat de 65 - 75 µm, duritatea ajungând la cca. 1000 HV. Cromarea are loc într-o baie semiacidă cu o densitate de curent de 20 A/dm^2 timp de 3,5 ore. În vederea amorsării fisurilor pe suprafaţa cromată, pe suprafaţa opusă prelucrată la un $R_a \approx 2,5$ µm, se aplică 5 amprente Brinell cu penetrator de 5 mm la distanţa de 20 mm. Amprentarea se realizează cu sarcini diferite, corpul fiind sprijinit pe partea cromată pe plăci inelare intermediare, cu orificii diferite conform datelor cuprinse în tabelul 1, [26]. Protejarea părţii cromate se realizează cu o garnitură intermediară din cauciuc de 2 mm grosime.

Astfel se obţin fisuri în reţea de formă stelară având diametrul cuprins între cca. 1,5 şi cca. 4,5 mm, conform datelor din tabel. Măsurarea deschiderii fisurilor se realizează în lumină ultravioletă de 10 ± 1 W/m^2, într-un câmp luminos de 50 ± 20 lx. Pe baza măsurătorilor se poate stabili clasa de sensibilitate.

Tabelul 1

Amprenta nr.	Diametrul orificiului de pe inelul de sprijin (mm)	Forţa de amprentare (daN)	Diametrul zonei de fisuri (mm) ± 0,5 mm
1	7	170	1,6
2	6	200	2,3
3	5	280	2,8
4	4	450	3,5
5	3	510	4,4

Cercetări experimentale [14], folosind corpul de etalonare au pus în evidenţă influenţa exercitată pe de o parte de temperatură, iar pe de altă parte de laţimea fisurii asupra sensibilităţii controlului.

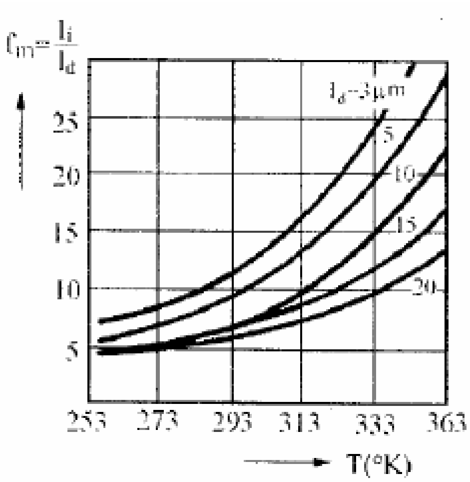


Fig. 12. Dependenţa de temperatură a

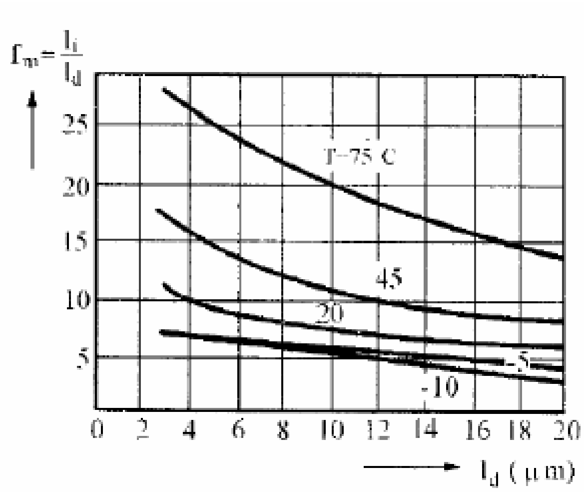


Fig. 13 Dependenţa factorului de mărire a

factorului de mărire a fisurii; fisurii de deschiderea (lățimea) defectului;

Aşa cum rezultă din figura 12, se constată o dependență exponențială a lui f_m în funcție de temperatură. Ea este mai accentuată la temperaturi mai mari de 20°C şi cu atât mai substanțială cu cât discontinuitatea are o lățime mai mică. Rezultatul este confirmat prin reprezentarea datelor într-un sistem de coordonate $f_m - l_d$, ilustrat în figura 13.

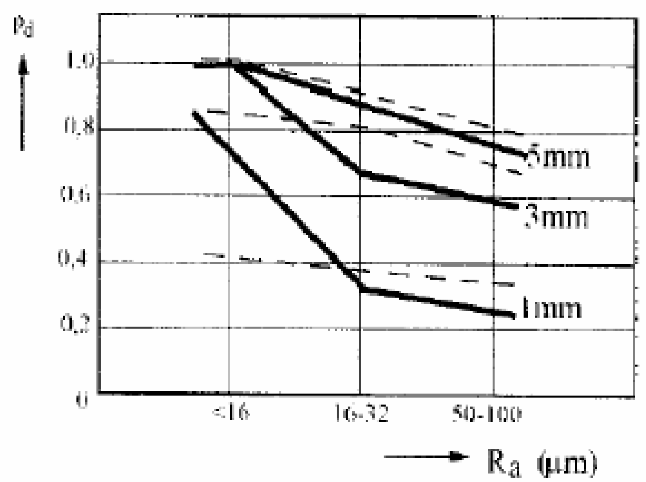


Fig. 13. Influența rugozității suprafeței şi a adâncimii discontinuității asupra probabilității de detectare (linie plină: contrast culoare, linie intreruptă: contrast fluorescent)

Se evidențiază astfel că, dacă în domeniul de temperaturi 253 - 293 ^{0}K, factorul de mărire este cuprins între 5 şi 10, la temperaturi mai mari de 50°C, acesta variază în limite mult mai largi, cu valori situate între 10 şi 25. Pe de altă parte, rezultă că modificările cele mai mari ale factorului de mărire se înregistrează în cazul deschiderilor de fisuri fine, mai mici de 10 μm, ceea ce este desigur benefic procesului de examinare.

Intluența adâncimii discontinuității asupra sensibilității metodei ca şi asupra probabilității de detectare a fost studiată în [8]. Aşa cum rezultă şi din figura 14 prelucrată după [8] probabilitatea de detectare depinde atât de gradul de prelucrare a suprafeței cât şi de adâncimea discontinuității. Se observă de exemplu că şi în cazul discontinuităților de adâncime 3 - 5 mm, probabilitatea de detectare este cel puțin dublă față de cea corespunzătoare adâncimilor sub 1 mm. Din punctul de vedere al gradului de rugozitate, exprimat prin mărimea medie a înălțimii microneregularităților R_a se relevă faptul că sub intervalul R_a = 16 - 32 μm are loc o modificare substanțială a pantei de variație a dependenței mărime R_a - probabilitate de detectare, în sensul obținerii unei relevanțe superioare.

9. PRELUCRAREA AUTOMATĂ A INDICAȚIILOR

Recunoaşterea optică a formei discontinuităților foloseşte o tehnică mixtă care are la bază folosirea unei camere video şi a unui calculator.

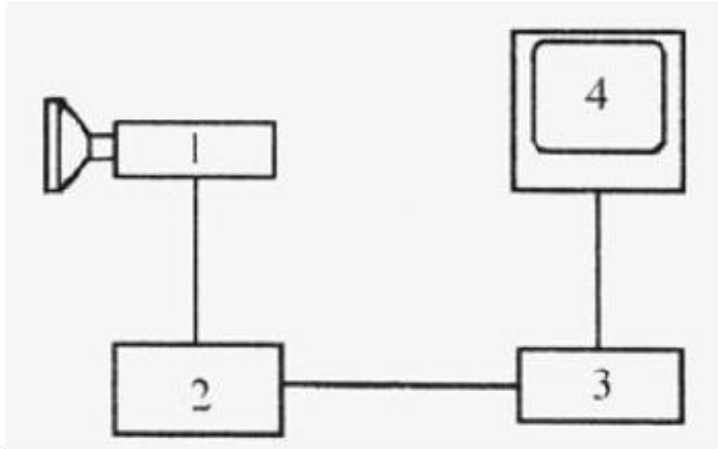


Fig. 15. Schema de achiziție a indicațiilor de defecte:
1. camera video; 2. convertor analog – digital; 3. unitate de stocare a imaginii; 4. calculator:

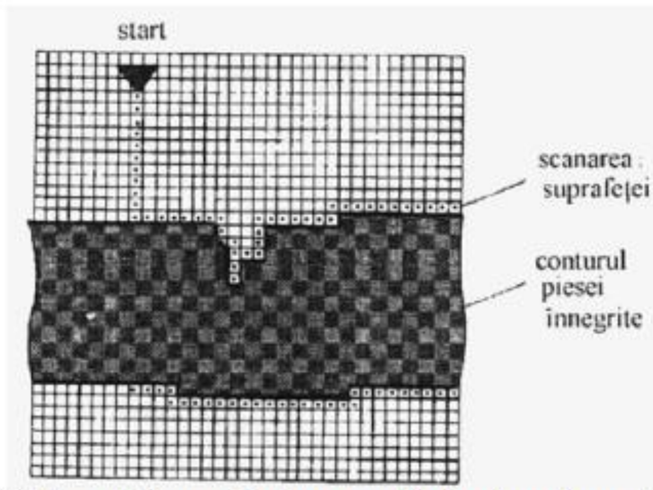


Fig 16. Principiul scanării suprafeței conturului piesei cu ajutorul calculatorului

O cameră CCD - tip matrice de achiziție are ca principiu reținerea unei imagini folosind o rețea dintr-un număr foarte mare de elemente fotosensibile. Cu ajutorul unui convertor analog-digital având o capacitate de stocare de 512 x 512 puncte se obțin informații despre intensitatea luminoasă a suprafeței vizate de camera CCD corespunzator celor 262.144 fotocelule. Treptele de intensitate în număr de 255 departajează fin gradul de înnegrire de la 0 corespunzător negrului, la 255 pentru alb.

Schema instalației de urmărire și prelucrare - redare a indicațiilor preluate de pe suprafața examinată este prezentată în figura 15.

Calculatorul adresează fiecare unitate de memorie, citește informația alb/negru, analizează contururi, forme și distanțe, în câmp iluminat după principiul redat în figura 16. Astfel discontinuitatea (defectul) se poate măsura în puncte, care sunt convertite în unități de lungime. Gradul de rezoluție a sistemului depinde de densitatea pixelilor.

Contrastul imaginii discontinuității poate fi îmbunătățit dacă mișcarea camerei video în raport cu suprafața observată se realizează într-un câmp iluminat oblic la 45°. Având în vedere ca gradul de reflexie a stratului developator alb este foarte ridicat vor trebui folosite filtre de câmp negru sau de infraroșu, cu ajutorul cărora se obține o mărire substanțială a contrastului indicației utile.

11. APLICAȚII LA CONTROLUL ETANȘEITĂȚII

11.1. Condiții generale

Controlul etanşeităţii produselor în general este prescris prin norme de supraveghere tehnică şi documentaţii de execuţie la toate vasele, recipientele, conductele şi instalaţiile sub presiune sudate, nou construite sau repuse în funcţiune, precum şi periodic după o anumită durată de exploatare. Controlul se pretinde şi altor categorii de produse la care circumstanţele de funcţionare reclamă o verificare mai riguroasă a condiţiei de etanşare. El se execută în urma tratamentului termic şi examinării nedistructive a îmbinărilor sudate. După încercarea la presiune-etanşare se interzice orice intervenţie care ar putea influenţa materialul, rezistenţa sau etanşeitatea produsului. Având în vedere suprapresiunea de încercare, se recomandă un control nedistructiv final al îmbinărilor sudate, în special în zonele în care s-au efectuat remedieri, sau în locurile în care s-au relevat defecte.

La produsele deschise accesibile din ambele părţi, se pot aplica în principiu două metode de încercare. Prima metodă constă în presurizarea uneia din părţi şi scăparea la presiune atmosferică. Cea de-a doua metodă constă în depresurizarea sau vidarea uneia din părţi şi examinarea scurgerilor în zona vidată.

I1.2. Calculul scapărilor prin neetanşeităţi de tipul discontinuităţi - defecte

Pierderile prin neetanşeităţi de tipul orificillor mici, denumite şi scăpări sau scurgeri, pot fi calculate pe baza relaţiei generale a debitului de scurgeri.

$$q_s = \mu \cdot \omega (2\Delta p/\rho)^{1/2} \tag{18}$$

în care: μ reprezintă coeficientul de debit, e - secţiunea neetanşeităţii, Δp – diferenţa de presiune, ρ - densitatea mediului de scurgere. Coeficientul de debit variază în funcţie de presiune şi valoarea numărului Reynolds: valorile uzuale pentru orificii sunt cuprinse în intervalul μ = 0,59 ÷ 0,64, iar pentru fante (fisuri) în limitele μ =0,66 -0,78. Dacă se măsoară q_s, secţiunea de scurgeri se calculează cu relaţia:

$$\omega = \frac{q_s}{\mu\sqrt{2}} \cdot (\rho / \Delta p)^{-1/2} \tag{19}$$

În cazul gazelor care debuşează prin orificii de secţiune ω dintr-o incintă de secţiune ω_0 se recomandă folosirea relaţiei:

$$q_s = \mu \cdot \omega (2\Delta_p / \rho)^{1/2} \left[1 - (\mu\omega / \omega_0)^2\right]^{-1/2} \tag{20}$$

Cantitatea sau debitul de scurgeri se exprimă în subunităţi de debit propriu-zis, cm^3/s (ml/s), sau în subunităţi de debit energetic, adică în bar·cm^3/s. De asemenea, el poate fi exprimat prin raportare la debitul de scurgeri calibrate printr-un dispozitiv, care furnizează un flux cunoscut de lichid sau gaz în condiţii date de diferenţă de presiune, având ordinul de mărime al celui ce se verifică.

11.3. Determinarca scăpărilor admisibile

La stabilirea scăpărilor admisibile se iau în consideraţie, în ordine, după caz: pericolul de explozie, pericolul de incendiu, pericolul de intoxicaţie, precum şi efectul economic al pierderii de medii. Calculul se face ţinând seama de limitele concentraţiilor admise în aer după normativele în vigoare. Având concentraţia admisă C_a (% volum aer), în vederea evitării fenomenelor menţionate, volumul incintei în care se produc scăpările V (m^3) şi durata maximă între două controale Δt_{max}(s), rezultă debitul admis de scăpări:

$$q_{sa} = \frac{V \cdot C_a 10^6}{c \cdot \Delta_{t\,max}} \tag{21}$$

Valcarea coeficientului de siguranță $c \geq 1$ se alege în funcție de gradul de periculozitate a scăpărilor, ecartul dintre limita inferioară şi superioară de explozivitate, respectiv toxicitate, precum şi de influența temperaturii şi presiunii asupra acestor limite.

11. 4. Particularități ale tehnicilor de control

La controlul etanşeității se folosesc în exclusivitate penetranți autoemulsificatori, dintre operațiile prevăzute la par. 2 fiind excluse îndepărtarea excesului de penetrant şi postemulsionarea. La controlul etanseității recipientelor şi tubulaturilor cu acces de pe ambele parți se foloseşte tehnica examinării cu penetranți de contrast colorat, solubili în solvenți organici. Aplicarea penetrantului se efectuează cu pistol de stropit la presiune ridicată de 100 ÷ 160 bar de pe partea ce urmează să fie supusă la presiune (suprapresiune) iar aplicarea developantului pe partea opusă de joasă presiune.
Timpul de penetrare va fi de 10 - 30 minute, în cazul recipientelor cu pereți groşi se recomandă aplicarea penetrantului în două - trei rate. Penetrantul fluorescent este recomandat numai la examinarea produselor de serie, unde observarea se poate realiza în spatii întunecate în lumină ultravioletă. În cazuri deosebite se recomandă activarea penetrării cu ultrasunete.
Având în vedere că în timpul probei de suprapresiune a recipientelor, şi presiunea capilară se modifică substanțial, facilitând astfel infiltrarea penetrantului, aplicarea developantului pe suprafața de examinare are loc în momentul atingerii presiunii de încercare.
Interpretarea indicațiilor în discontinuități sau defecte se face după criteriile descrise la par. 8.5.
Sensibilitatea de detectare a scăpărilor prin discontinuități şi defecte cu lichide penetrante întrece cu două - trei ordine de mărime sensibilitatea asigurată la examinarea prin metoda imersionării, şi poate ajunge la nivelul de 10^{-5} bar·cm^3/s.

12. CONTROLUL CU PENETRANȚI GAZOŞI

Metoda a fost lansată cu deosebit succes la verificarea paletelor de turbină la suprafața cărora s-au manifestat fenomene de nucleere şi de coalescență a microfisurilor încă din domeniul de solicitare la oboseală oligociclică [13].
Ca substanță de penetrare se foloseşte kriptonul, care spre deosebire de lichide, difuzează intens şi nu poate fi absorbit de suprafețele umede. Astfel, kriptonul accesează uşor şi rapid cele mai fine microfisuri şi chiar rețeaua de oxizi. Potrivit teoriei cinetice coeficientul de difuzie este direct proporțional cu vâscozitatea şi cu temperatura $T^{3/2}$ şi invers proportional cu radicalul masei moleculare a gazului. Astfel, gazele reale au coeficienți de difuzie de 0,1 ÷ 1 cm^2/s soluțiile lichide de $10^4 \div 10^5$ ori mai mici, de aproximativ 1 cm^2/24h.
Gazul folosit ca penetrant constă dintr-un amestec de 95% kripton inert, stabil, K^{36}_{78} şi 5% kripton K^{36}_{85} care eliberează cuante de radiații beta şi gama (două nivele energetice), având o perioadă de înjumătățire de 4,4 ore. După xenon este cel mai greu gaz inert, de 3,5 ori mai greu decât aerul, are numărul de masă 78 şi se găseşte în aer într-o concentrație de cca. 5 ori mai mică decât heliul. Diametrul atomului de kripton este putin peste 0,1 nm. Sensibilitatea de detectare a microdiscontinuităților este foarte mare fiind cuprinsă în intervalul 1 - 10^{-4} mm, interval învecinat la limita inferioară cu mărimea nucleelor de fisuri. Comparativ cu capacitatea de detectare a discontinuităților la controlul cu lichide penetrante, metoda cu kripton se situează la diferențe de până la trei ordine de mărime. Ca urmare metoda de control folosind ca penetrant amestecul de kripton se recomandă la examinarea microdiscontinuităților superficiale.
Operatiile de control cu kripton sunt asemănătoare celor utilizate la controlul cu lichide penetrante şi se succed astfel, figura 17:
a). curățirea mecanică şi chimică a suprafeței supuse examinării;
b). introducerea piesei într-o incintă de vacuum şi vidarea ei. Vidarea asigură îndepărtarea aerului şi, mai ales, accelerarea procesului de difuzie a moleculelor de kripton, atât ca transport, cât şi ca durată, cunoscându-se faptul că gradul de difuzie a gazelor este invers proportional cu presiunea;

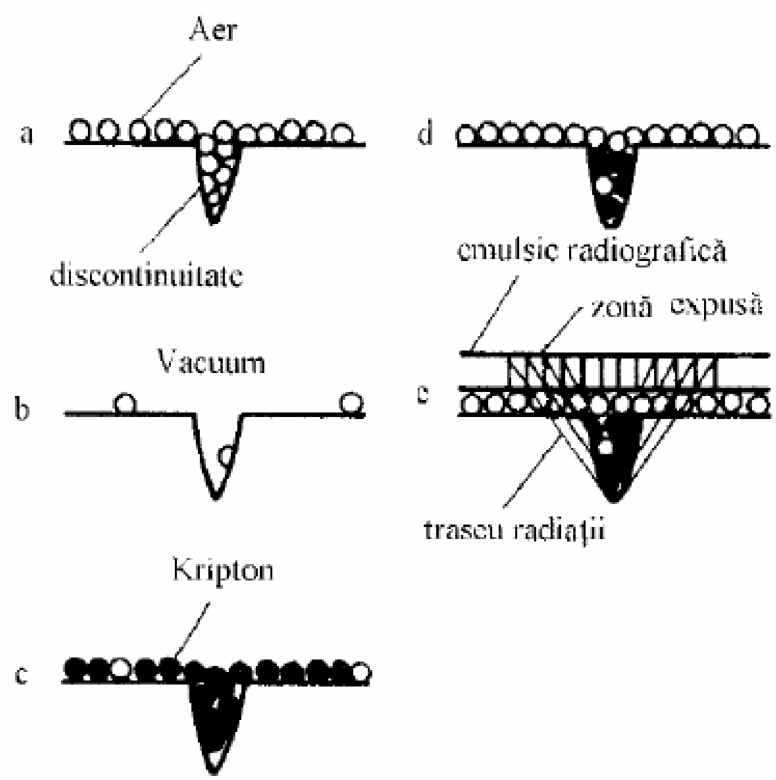


Fig. 17. Fazele controlului cu penetranți gazoşi

c). expunerea piesei unui jet de amestec de kripton, care pătrunde prin greutate şi prin proces de difuzie în cele mai fine discontinuități de la suprafață;
d). îndepărtarea amestecului de kripton prin admiterea aerului în incintă şi refacerea presiunii. Kriptonul fiind mult mai greu decât aerul rămâne captiv în interiorul discontinuităților;
e). aplicarea prin pulverizare a unei pelicule de emulsie fotosensibilă utilizată la filmele radiografice ca strat absorbant, pe care amprenta discontinuității se imprimă sub formă înnegrită ca urmare a efectelor emisiei de radiații beta şi gama din componenta K_{85}^{36}, blocată în interiorul discontinuității. Având în vedere că depunerea unei pelicule omogene de grosime constantă reprezintă unul din factorii principali în obținerea rezultatelor scontate, finețea prelucrării suprafeței este esențială. Pelicula radiografică, purtând amprentele discontinuităților se desprinde de pe suprafața piesei ca un film şi se evaluează cantitativ cu senzori electronici de măsurare. Datorită rapidității fenomenului de difuzie se elimină durata de penetrare necesară absorbției penetrantului la controlul cu lichide penetrante. Traseul particulelor beta şi gama din Kr85, urmare a puterii de pătrundere prin material, excede conturul propriu-zis al discontinuității, astfel încât imaginea obținută pe pelicula de emulsie radiografică este dilatată de cca. 10 ori față de mărimea reală a discontinuității.

13. MĂSURI DE PROTECȚIE

În vederea eludării efectelor nocive asupra personalului de deservire se recomandă respectarea cu strictețe a unor măsuri minimale de protecție individuală şi socială. Astfel, se va evita respirarea directă deasupra zonei de lucru, unde se degajă vapori ai diferitelor componente folosite. La un contact îndelungat se impune folosirea măştilor şi filtrelor şi întreținerea zonelor de piele expuse iritării cu cremă. Totodată se reclamă aerisirea intensivă a zonei de lucru şi a încăperii. Cum în majoritatea tehnologiilor de control aplicarea componentelor de curățire, penetrare sau developare se realizează prin pulverizare, se recomandă evitarea contactului inutil cu pielea prin folosirea mănuşilor şi sorturilor precum şi protejarea ochilor. Deoarece materialele de lucru sunt inflamabile,

toxice şi otrăvitoare se interzice fumatul şi degustarea în încăperea de lucru. De asemenea, datorită temperaturii de inflamabilitate coborâte, se interzice activitatea şi depozitarea trusei de componente lângă surse de căldură şi chiar expunerea la soare. Componenta cea mai periculoasă este curățitorul, mai ales dacă are la bază tricloretan sau tricloretilenă pură, datorită gradului ridicat de contaminare a apei, având influențe negative şi asupra stratului de ozon. Se citează cu un litru de astfel de substanță este suficient să contamineze cca. 40 mil. litri de apă potabilă. Ca urmare, se recomandă folosirea curățitorilor pe bază de alcooli sau amestecuri, cu toate că sunt uşor inflamabili.

Cu exceptia hidrocarburii amintite, îndepărtarea materialelor utilizate în cantități mai mici se face cu apă industrială întrucât ele sunt biodegradabile. În cazul controlului de serie, unde se folosesc cantități relativ mari de substanțe, reziduurile se trec prin site moleculare de ultrafiltrare.

Lucrarea 3

Examinarea nedistructivă cu pulberi magnetice

*1. **Denumirea metodei***: EXAMINAREA CU PULBERI MAGNETICE (*MT - magnetig testing*)

*2. **Tipul de examinare***: magnetic.

*3. **Agentul de investigare***: câmpul magnetic.

*4. **Fenomenul fizic de bază***: producerea câmpurilor de scăpări (de dispersie) atunci când liniile câmpului magnetic întâlnesc o discontinuitate a materialului.

*5. **Modul de aplicare***: se magnetizează obiectul controlat. Se împrăştie pulbere magnetică pe suprafața obiectului. Se produc aglomerări de pulbere în dreptul discontinuităților, marcându-le astfel prezența.

*6. **Domeniul de utilizare***: detectarea discontinuităților de suprafață sau situate în preajma acesteia.

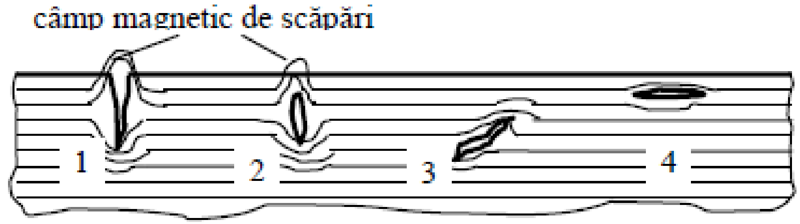
7. ***Indicația de defect:*** pete colorate (roşu, albastru, verde, galben) pe fondul suprafeței (în lumină albă) sau pete luminoase (galben, galben - verzui) pe fondul luminos albastru - violet (în lumină ultravioletă).

8. ***Materialul obiectului controlat***: numai feromagnetice (oțel carbon, fontă, oțel slab aliat, nichel, cobalt şi unele aliaje ale acestora).

9. ***Particularități***: prin aceasta metodă, pot fi controlate doar piese şi semifabricate confecționate din materiale care se magnetizează, cum ar fi: oțel carbon şi slab aliat, fontă, unele oțeluri aliate, cobalt, nichel şi unele aliaje ale lor. *Materialele feromagnetice* sunt materiale metalice cu permeabilitatea magnetică relativă μ_r mult mai mare decât 1. Aceste materiale sunt atrase foarte puternic de un câmp magnetic. Exemple: fier, nichel, cobalt, magnetită – Fe_3O_4-.

Câmpul magnetic de dispersie este neomogen şi are energie mare. Tendința câmpului de a-şi micşora energia până la o valoare minimă posibilă este satisfăcută prin atragerea unor particule feromagnetice depuse sub formă de pulbere pe suprafața piesei controlate; se formează astfel aglomerări de pulbere pe suprafața piesei, marcând prezența defectelor. Mărimea câmpului magnetic de scăpări depinde în mod direct de orientarea discontinuității în raport cu liniile de forță ale câmpului magnetizant şi de adâncimea la care se găseşte discontinuitatea.

10. ***Scheme de principiu*** - pulberea magnetică depusă pe obiectul magnetizat, se orientează după liniile de câmp. Defectele de tip 1 şi 2 (fig. 1.16) produc câmpuri de dispersie (scăpări) sesizabile prin faptul că determină aglomerări de pulbere. Metoda asigură şi detectarea defectelor din apropierea suprafeței, chiar dacă acestea nu comunică cu exteriorul, dacă pertubațiile produse se manifestă la suprafață. Magnetizarea se poate face prin introducerea piesei într-un câmp magnetic generat de magneți permanenți, electrozi de contact, bobine, sau prin trecerea curentului electric prin piesă.



1 – discontinuitate de suprafață, orientată perpendicular pe liniile de câmp;
2 - discontinuitate în apropierea suprafeței, orientată perpendicular pe liniile de câmp;
3 - discontinuitate de profunzime, orientată înclinat față de liniile de câmp;
4 - discontinuitate în apropierea suprafeței, orientată paralel cu liniile de câmp.

Fig. 1.16. Perturbarea liniilor de câmp de către discontinuități.

La alegerea tipului de magnetizare este necesar să se stabilească o corelație între defectele posibile şi traseul liniilor de câmp (fig. 1.17).

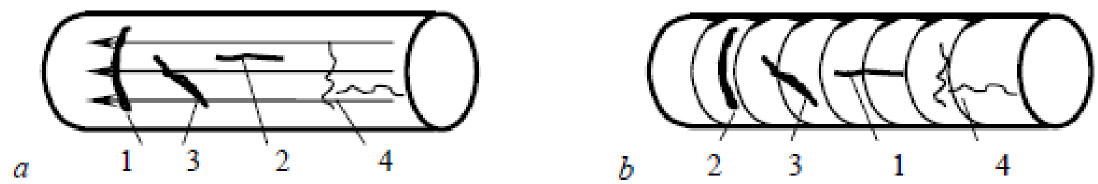


Fig. 1.17. Tipuri de magnetizare: *a* – longitudinală; *b* – circulară; 1 – indicație sigură; 2 – nu se obține indicație; de defect; 3 – indicație sigură; 4 – indicație parțial sigură.

8. ***Echipament de bază***:

Echipamentul necesar la examinarea cu pulberi magnetice constă, în principal din: sursă de curent, dispozitiv de magnetizare, dispozitiv de împrăştiat pulberea pe suprafața piesei, lămpi de iluminare în domeniul vizibil sau în domeniul ultraviolet, pentru pulberea fluorescentă, sonde de verificare, consumabile: pulberi uscate sau lichide magnetice şi blocuri etalon. Un exemplu de dispozitiv de magnetizare frecvent utilizat în practică este prezentat în figura 1.18 şi anume magnetizarea cu jug magnetic.

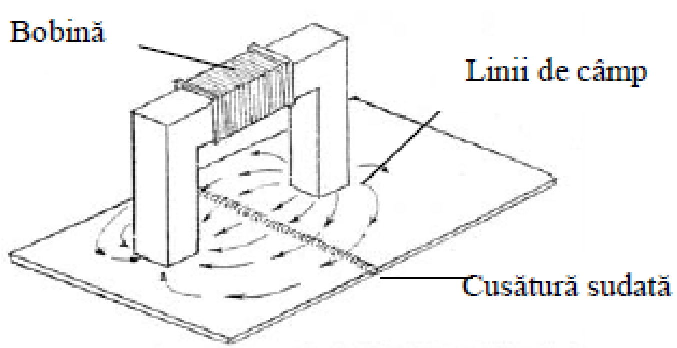


Fig. 1.18. Jug magnetic.

Verificarea magnetizării şi a calității pulberii magnetice se face cu ajutorul unor mici dispozitive special construite denumite *indicatoare de flux magnetic* (fig. 1.19, *a*).

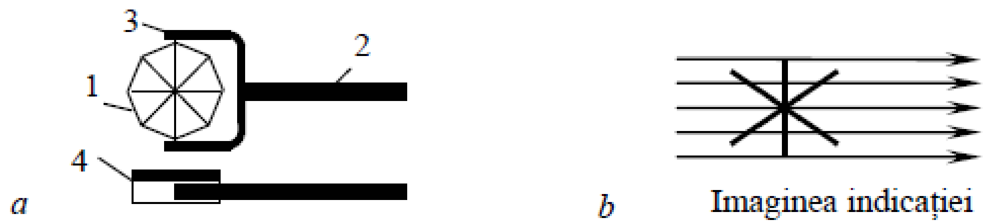


Fig. 1.19. Verificarea magnetizării: *a* - indicator de flux magnetic, 1 - segmente din oțel carbon brazate (8 buc.); 2 – mâner din material nemagnetic; 3 – articulații; 4 – suprafață de observare (0,20...0,25 mm) din cupru sau alamă; *b* – indicație caracteristică.

Indicatorul de flux magnetic se așează pe suprafața piesei cu suprafața de observare spre operator. Se magnetizează piesa şi se aplică concomitent suspensia magnetică pe indicator, după care se observă formarea indicației (indicația caracteristică are aspectul literei X, tăiată de o linie transversală, fig. 1.19, *b*).

În figura 1.20 sunt prezentate câteva componente uzuale ale unui stand de examinare cu pulberi magnetice.

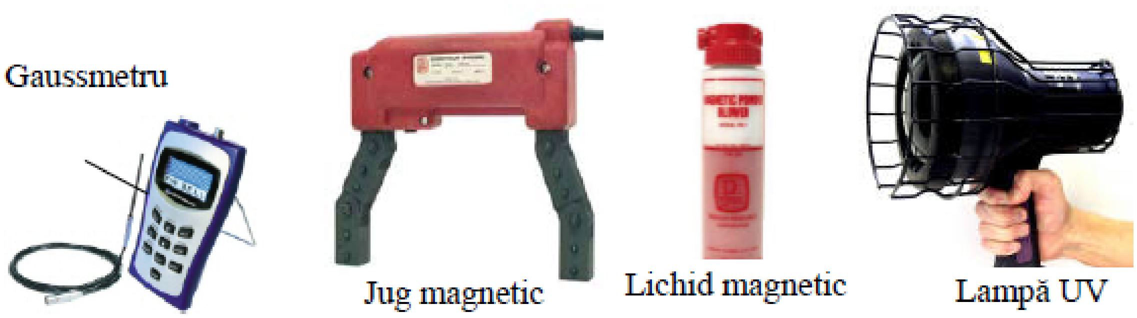


Fig. 1.20. Componente uzuale ale unui post de lucru cu pulberi magnetice.

Consumabile

Pulbere magnetică fluorescentă – pulbere magnetică ale cărei granule sunt acoperite cu o peliculă fluorescentă. Contrastul față de fond se obține prin diferența de strălucire la iluminarea cu radiații ultraviolete (UV).

Pulbere magnetică colorată – pulbere magnetică ale cărei granule sunt colorate prin depunere de pelicule sau prin atacare chimică. Contrastul față de fond se obține prin diferența de culoare.

Suspensie magnetică – suspensie de pulbere magnetică într-un mediu de dispersie (aer, apă, petrol, ulei). Sinonim: lichid magnetic, dacă mediul de dispersie de dispersie este lichid.

12. ***Observații şi recomandări***

- În funcție de modul de utilizare a pulberii, tehnicile de examinare pot fi:
  - tehnici uscate, când pulberea este folosită în suspensie cu aer;
  - tehnici umede, când pulberea amestecată cu un lichid magnetic.

- Intensitatea curentului electric trebuie să fie suficient de mare pentru ca inducția magnetică din piesa magnetizată (în vecinătatea suprafeței), indiferent de metoda de magnetizare utilizată, să fie de minimum 0,72 T.
- Curentul electric folosit la alimentarea dispozitivelor de magnetizare poate fi: continuu, alternativ sau pulsant.

Curentul continuu – asigură o mai bună sensibilitate de detectare a discontinuităților în profunzime (de circa 7-8 ori mai bună decât la curentul alternativ), dar prezintă inconveniente legate de obținerea lui.

Curentul alternativ – asigură o bună sensibilitate de detectare a discontinuităților fine de suprafață (din cauza vibrării granulelor pulberii), se obține uşor, dar are o mică sensibilitate de detectare în profunzime (din cauza efectului pelicular).

Curentul pulsant – întruneşte avantajele metodelor precedente dar se obține destul de dificil.

- Jugul magnetic îndeplineşte condiția impusă de standard dacă asigură ridicarea numai cu ajutorul forței magnetice a unei piese din material feritic, având o masă de 18 kg, pentru alimentarea în curent continuu, respectiv 4,5 kg pentru alimentarea în curent alternativ.

Magnetizarea trebuie astfel realizată încât liniile de forță ale câmpului magnetic să cadă perpendicular pe discontinuitățile căutate.

- Sensibilitatea de detecție scade apreciabil dacă orientarea discontinuităților este deviată cu mai mult de 45^0 față de direcția optimă.
- La sfârşitul examină cu pulberi magnetice, trebuie inclusă o operație de demagnetizare a pieselor controlate, deoarece există situații în care magnetismul remanent apărut în urma controlului magnetic dăunează bunei funcționări a pieselor în exploatare sau la prelucrarea în continuare (sudare cu arc electric, vopsire în câmp electrostatic, montaj etc.).
- La examinarea cu pulberi magnetice discontinuitățile sunt semnalate prin aglomerări de pulbere, denumite *indicații*. Indicația este o aglomerare evidentă de pulbere magnetică. Prin *indicație relevantă* se înțelege o indicație care poate fi asociată cu existența unei discontinuități. O *indicație nerelevantă* este o indicație provocată de o altă cauză decât existența unei discontinuități. De obicei, se datorează unei tehnici de magnetizare incorecte sau configurației geometrice a piesei. Prin *indicație neconcludentă* se înțelege o indicație pe baza căreia nu se poate stabili existența unui defect sau nu se poate determina natura acestuia.
- Caracteristicile indicației formate pe dispozitivul de verificare oferă indicii referitoare la calitatea, magnetizării şi a pulberii sau lichidului magnetic.
- Dispozitivul de verificare vizualizează orientarea liniilor de câmp ceea ce permite cunoaşterea direcției în care dacă ar exista defecte acestea ar fi nedectabile (cele orientate paralel cu liniile de câmp).

13. PARTICULARITATI

Aplicațiile industriale ale defectoscopiei cu pulberi magnetice datează din jurul anului 1930, ajungând astăzi una dintre cele mai răspândite şi eficiente metode de examinare. Ea are la bază analiza câmpurilor magnetice create prin magnetizarea piesei sau a zonei controlate.

Metoda poate fi aplicată facil materialelor feromagnetice formate din cca. 1000 de şi aliaje, dintre care cele mai importante sunt: Fe, Co, Ni şi aliajele acestora. La uri defectoscopia cu pulberi magnetice poate fi aplicată tuturor sortimentelor de structură a feritice, ferito-perlitice, ferito-martensitice şi martensitice, şi nu poate fi aplicată oțelurilor de structură 8, austenitice.

Principalele mărimi magnetice - forța coercitivă, magnetizația de saturație, permeabilitatea şi inducția remanentă - depind de compoziția chimică, formele de cristalizare, tipul structurii, cantitatea de dislocații şi de incluziuni etc. Forța coercitivă este influențată mai ales de structură şi doar în mică măsură de compoziția chimică. Magnetizația de saturație este influențată de modificările elementelor de aliere, deci de compoziția chimică şi în mai mică măsură de structură.

Modificările de permeabilitate magnetică superficială şi subsuperficială provocate de prezența unor discontinuități conduc la modificarea liniilor de câmp magnetic, obligând ca acestea să se închidă la suprafața piesei. Astfel se formează fluxul magnetic de dispersie, ca element de bază al observării, examinării şi înregistrării discontinuităților de la suprafața piesei controlate.

Multitudinea procedeelor de magnetizare conferă metodei o bună adaptabilitate la complexitatea geometrică şi dimensională a pieselor.

În ceea ce priveşte performanța de a pune în evidență discontinuitățile, se precizează că dacă la un control de rutină aceasta se situează în domeniul 0,5 ÷ 1 mm, la un control optim coordonat se poate ajunge la detectarea unor discontinuități cu deschideri de până la 0,001 mm.

14. CARACTERIZAREA CÂMPULUIMAGNETIC ŞI TIPURI DE MATERIALE

În exteriorul corpurilor magnetizate, inclusiv în vid se definesc două mărimi vectoriale ale câmpului magnetic, intensitatea $\bar{H}$ şi inducția magnetică B, legate între ele prin relația:

$$\bar{B} = \mu_0 \cdot \bar{H} \qquad (T) \qquad (1)$$

unde μ_0 este caracteristica de permeabilitate a vidului, care este o constantă numită şi constanta de inducție, $\mu_0 = 4\pi\cdot10^4$ [H/m]. În tabelul 1 sunt prezentate unitățile de măsură în sistemul SI şi CGS pentru principalele mărimi magnetice şi electrice.

Intr-un corp magnetizat se definesc trei mărimi ale câmpului magnetic, primele două fiind H şi B, iar cea de a treia, magnetizația M . Ele sunt legate prin relația:

$$\bar{B} = \mu_0 \left(\bar{H} + \bar{M}\right) \qquad (2)$$

Magnetizația se defineşte pe baza relației:

$$\overline{M} = \lim_{\Delta v = 0} \frac{\sum \overline{m_k}}{V} \qquad (A/m) \qquad (3)$$

unde $\sum \overline{m_k}$ a este suma vectorială a momentelor magnetice din volumul V.

Starea de magnetizație sau intensitatea de magnetizație a corpurilor poate să fie temporară, notată cu $\overline{M}_t$ dacă se manifestă numai în prezența unui câmp magnetic exterior, sau permanentă, notată cu M_p, dacă este independentă de prezența câmpului magnetic exterior. Magnetizația temporară este dependentă de intensitatea câmpului magnetic, conform relației:

$$\overline{M}_t = \chi_m \cdot \overline{H} \qquad (4)$$

în care: χ_m reprezintă susceptivitatea magnetică, o constantă de material, ce poate avea valori pozitive sau negative.

Referitor la magnetizația corpurilor, s-a observat că unele dintre acestea se magnetizează temporar, iar altele se magnetizează permanent. Din prima categorie fac parte aşa-numitele materiale neferomagnetice, iar din a doua materialele feromagnetice.

Tabelul 1

Nr crt	Mărimea	Simbol	Dimensiune (LMTI)	SI	CGS	Relații
1	Intensitatea curentului electric	I	I	A	Bi	4Bi = 10 A
2	Tensiunea electrică	U	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	V	10^{-8}V	-
3	Rezistența electrică	R	$L^2MT^{-3}I^{-2}$		$10^{-9}\Omega$	-
4	Intensitatea câmpului magnetic	$\overline{H}$	$L^{-1}I$	A/m	Oe	1 Oe = 79,6 A/m
5	Inducția magnetică	$\overline{B}$	$MT^{-2}I^{-1}$	T (1 T = 1 Wb/m^2)	Gs	1 Gs = 10^{-4} T
6	Fluxul magnetic	Φ	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	Wb (1 Wb = 1 V·s	Mx	1 Mx = 10^{-8} Wb
7	Magnetizația	M	L^{-1}, I	A/m	Bi/cm	1 Bi/cm = 10^3 A/m
8	Tensiunea magnetică	U_m	I	A (As)	Gb	1 Gb = 0,0796 A
9	Reluctanța	R_m	$L^{-2}M^{-1}T^2I^2$	A/Wb	$10^9/4\pi$A/W	-
10	Inductivitatea	*L*	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	H	10^{-9}H	1 H = 1Ωs
11	Permeabilitatea	μ	$LMT^{-2}I^{-3}$	H/m	$4\pi\cdot10^{-7}$ H/m	-

Materialele neferomagnetice sunt aşa-numite materiale magnetice liniare, adică relația B=B(H) este o funcție liniară.

Astfel:

$$\overline{B} = \mu_0(\overline{H} + \overline{M}) = \mu_0(\overline{H} + \chi_m \overline{H}) = \mu_0(1 + \chi_m)\overline{H} \qquad (5)$$

în care:

$$\mu = \mu_0(1 + \chi_m) \quad (6)$$

se numeşte permeabilitatea magnetică absolută, iar

$$\mu_r = 1 + \chi_m \quad (7)$$

se numeşte permeabilitatea magnetică relativă a materialului.

Din punct de vedere al permeabilității relative (μ_r) şi a susceptivității (χ_m), materialele neferomagnetice sau cu magnetizație liniară se împart în două categorii:

• Materiale diamagnetice (ex.: Cu, Zn, Ag, Pb), care se magnetizează în sens opus câmpului magnetic aplicat: $M\uparrow - \downarrow H$, având χ_m <0 şi deci μ_r< l. Moleculele acestor materiale nu au inițial moment magnetic rezultant (materiale nepolare) ele căpătând, printr-un fenomen de inducție electromagnetică, un moment magnetic orbital, de sens opus câmpului exterior. La substanțele diamagnetice χ_m nu depinde de temperatură.

• Materialele paramagmerice (ex.: Al, Cr, O, aer) se magnetizează în sensul câmpului magnetic aplicat: $M\uparrow - \downarrow H$, având χ_m > 0 şi deci μ_r> 1. Moleculele acestor materiale nu au un moment magnetic propriu spontan (materiale polare) din cauza orientării dezordonate, momentul magnetic macroscopic fiind nul. La aplicarea unui câmp magnetic exterior, momentele magnetice tind să se orienteze în direcția câmpului, ordonării opunându-se agitația termică. Rezultă o magnetizare pozitivă dependentă de temperatură prin susceptivitate:

$$\chi_m = \frac{k}{T} \quad (8)$$

unde: k este o constantă de material; T este temperatura absolută (°K). La materialele neferomagnetice μ_r este foarte apropiată de unitate, practic putându-se considera $\mu \approx 1$, iar permeabilitatea absolută se poate lua $\mu \approx \mu_0$.

La materialele dia şi paramagnetice valorile lui χ_m sunt mici, de ordinul 10^{-5} 10^{-3}. Materialele feromagnetice prezintă o clasă specială a materialelor cu molecule polare, care se magnetizează extrem de puternic, neliniar şi ireversibil, prezentând histerezis şi magnetizare permanentă. La aceste materiale (ex.: Fe, Co, Ni) permeabilitatea relativă are valori extrem de mari, de ordinul 10^2 - 10^5, având χ_m > 0.

Datorită faptului că B=B(H)este o funcție neliniară, aceste materiale intră în categoria materialelor magnetice neliniare. Dintre constituenții structurali, ferita are cea mai mare permeabilitate magnetică. Cementita secundară şi martensita sunt feromagnetice, dar cu o permeabilitate mai slabă decât a feritei. Fierul γ sau austenita este paramagnetic.

Tratamentul de călire, ca de altfel creşterea conținutului de carbon, mangan şi crom scade magnetismul remanent, magnetizația de saturație şi permeabilitatea şi măreşte câmpul coercitiv. Recoacerea şi revenirea au efecte contrare, ca şi mărirea conținutului de siliciu şi chiar de nichel.

Introducând un corp feromagnetic în câmpul magnetic al unui conductor, se observă că la o intensitate mică a câmpului se obține o inducție puternică. Această comportare se explică pe baza teoriei microscopice a fenomenelor electromagnetice.

După cum se ştie, conform acestei teorii, magnetismul este produs de sarcini electrice elementare în mişcare. Electronii deplasându-se pe orbite în jurul nucleului în mişcare de precesie şi concomitent în jurul propriei axe de rotație - spinul electronului - dau naştere unor momente cinetice şi de spin, care, însumate, formează momentul magnetic al atomului. În prezența câmpului magnetic, momentele magnetice se orientează astfel încât se obțin aşa-numitele domenii Weiss cu spini orientați.
Materialele din această categorie sunt feromagnetice, atingând magnetizația de saturație când toate domeniile ajung orientate.

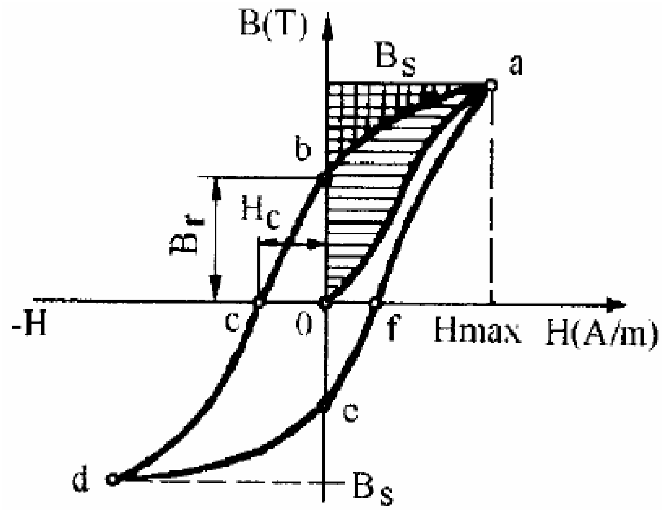


Fig. 1. Curba de magnetizare a materialelor feromagnetice

În prezența câmpului exterior, la aceste materiale are 1oc de fapt o orientare a domeniilor şi o suprapunere între câmpul de excitație şi câmpul magnetic propriu, deformarea câmpului uniform exterior şi concentrarea în corpul din material feromagnetic. Odată cu creşterea câmpului H se măreşte inducția B, în cazul primei magnetizări, după curba OA din figura 1, numită curbă de primă magnetizare.
Punctul a corespunde saturației magnetice a materialului, având semnificația limitării inducției magnetice, la valoarea de saturație Bs.
Dacă se micşorează intensitatea câmpului după atingerea saturației, inducția va scădea după curba a - c, determinând o inducție remanentă B, la H = 0 (punctul b), corpul devenind astfel magnetizat permanent $M_r = B/\mu_0$. Schimbând sensul câmpului magnetic, inducția scade până la valoarea B = 0, definind în punctul e al curbei, câmpul necesar pentru anularea fluxului, numit câmp coercitiv sau forță coercitivă H_c. Mărind magnetizarea în sens opus, se ajunge la saturația negativă (punctul d), ca apoi, prin micşorarea câmpului negativ şi schimbarea sa, inducția să crească din nou până la închiderea curbei în punctul a.
Bucla a, b, c, d, e, f, a, descrisă la variații ale câmpului H, poartă denumirea de buclă de histerezis. Dependenta B=f(H) nu este liniară, deoarece permeabilitatea nu este constantă. Proprietățile magnetice ale materialelor pot fi descrise şi mai simplu prin maximul lui μ_r respectiv μ_{rd}. Curbele de primă magnetizare la diferite materiale sunt indicate după [25] în figura 2. În figura 3 se prezintă caracteristicile complete de magnetizare ale oțelului foarte uzual OL37.

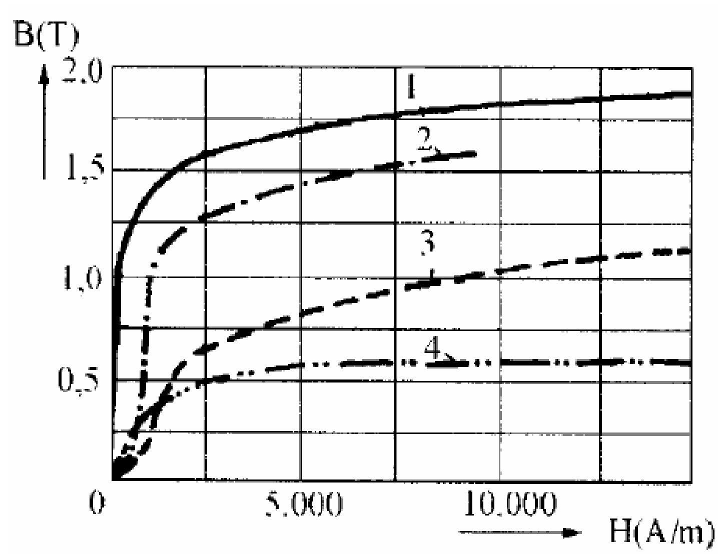


Fig. 2. Curbe de primă magnetizare ale unor materiale: 1 - tablă electrotehnică; 2 - oțel de scule: 3 - fontă cenuşie: 4-nichel pur la 900°C

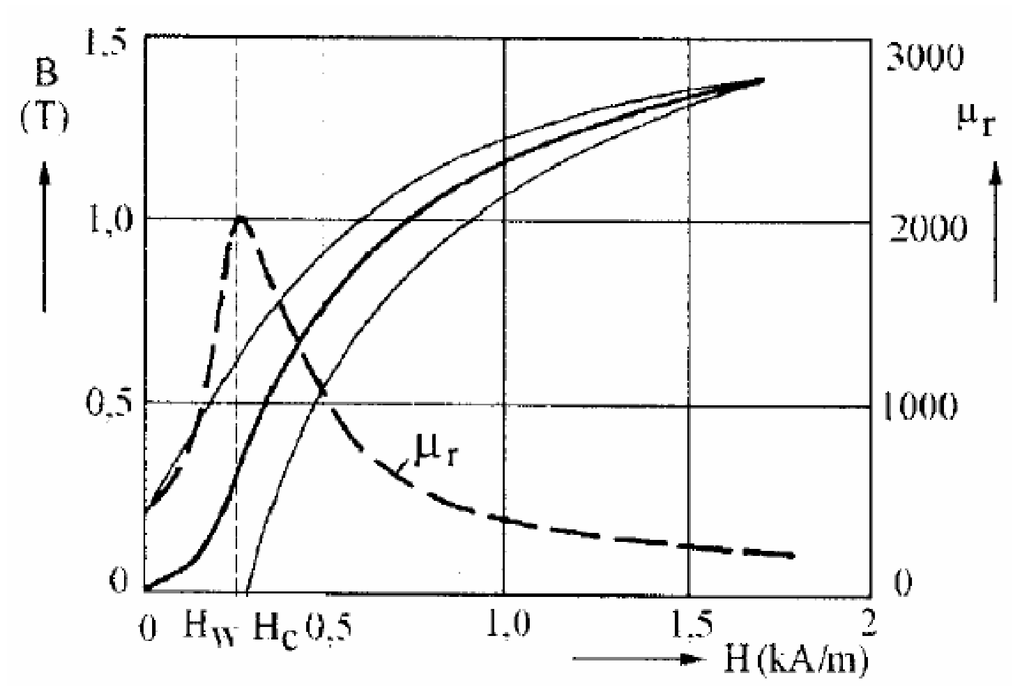


Fig. 3. Caracteristica de magnetizare a oțelului OL37

Proprietățile magnetice descrise, dispar dacă se depăşeşte o anumită temperatură (punctul Curie), care la fier este 761°C, la nichel 360°C etc., materialul devenind paramagnetic. Suprafața delimitată de curba de primă magnetizare OA şi inducția de saturație B_s (zonă haşurată simplu şi dublu în figura l), reprezintă energia specifică a unității de volum, consumată pentru producerea magnetizării:

$$W_v = H_{max} \cdot B_s - \int_0^{H_{max}} \overline{B} \cdot d\overline{H} = \eta \cdot B^{1,6} \quad (9)$$

unde η este un coeficient de material.

Din această energie, o parte este consumată prin căldură în circuit (zona simplu haşurată în figura 1).

$$W_{v_c} = H_{max} \cdot B_r + \int_{H_{max}}^{0} (\overline{B} + \overline{B}_r) \cdot d\overline{H} - \int_0^{H_{max}} \overline{B} \cdot d\overline{H} \quad (10)$$

iar o parte este redată circuitului la schimbarea polarității curentului de magnetizare (zona dublu haşurată din figura l).

$$W_{v_r} = H_{max} \cdot B_s - \int_{H_{max}}^{0} \overline{B} \cdot d\overline{H} \quad (11)$$

Pentru caracterizarea materialului, în jurul unei anumite stări, figura 4, corespunzătoare unei perechi de valori B şi H, se definesc:

• Permeabilitatea magnetică relativă statică (totală)

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} \quad (12)$$

care variază cu $\overline{H}$ atingând un maxim pentru a scădea şi a tinde către 1 pentru H →∞. Variația permeabilității relative în funcție de intensitatea câmpului H la o gamă largă de oțeluri este evidențiată grafic în figura 5. Se observă că la majoritatea oțelurilor curbele μ_r = f(H) prezintă câte un maxim în domeniul H =0,8 ÷ 1,5 kA/m urmat de o scădere lentă spre valori mai ridicate ale câmpului H. Fac excepție oțelurile cu conținut scăzut de carbon precum şi unele oțeluri slab aliate cu mangan.

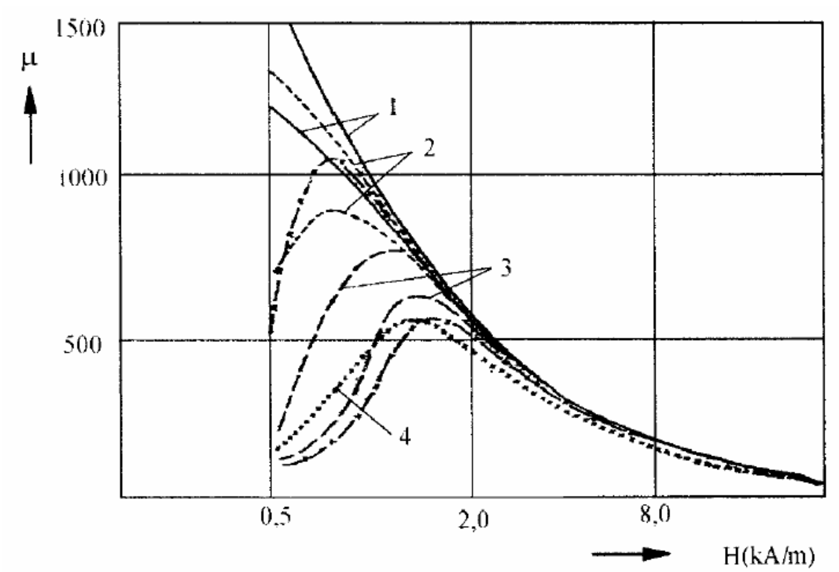


Fig. 5. Variația permeabilității relative in funcție de intensitatea câmpului magnetic:

1 - oțeluri cu C scăzut; 2 - oțeluri slab aliate C - Mn sau C -Mn – Mo; 3 - oțeluri aliate cu puțin Cr; 4 - oțeluri cu 13% Cr

• Permeabilitatea magnetică relativă diferențială (sau incrementală)

$$\mu_{rd} = \lim_{\Delta H \to 0}\left(\frac{\Delta B}{\mu_0 \Delta H}\right)_{sens\ direct} = \frac{1}{\mu_0}\left(\frac{dB}{dH}\right)_{sens\ direct} \tag{13}$$

care este proporțională cu panta curbei de magnetizare față de axa absciselor (coeficientul unghiular al tangentei în punctul dat P), la variația lui H în sens direct.

• Permeabilitatea magnetică reversibilă

$$\mu_{rev} = \lim_{\Delta H' \to 0}\left(\frac{\Delta B'}{\mu_0 \cdot \Delta H'}\right)_{revenire} \tag{14}$$

Dacă scade câmpul cu AH', în punctul P, înainte de a se atinge saturația şi apoi se măreşte din nou câmpul cu AH', se descrie un mic ciclu de histerezis, foarte turtit, care se poate confunda cu o dreaptă (numită dreaptă sau curbă de revenire), mai puțin înclinată față de abscisă decât tangenta în punctul P. Această transformare practic reversibilă este caracterizată de μ_{rev}. În general, μ_{rev} este mai mică decât μ_r şi decât μ_{rd}. Această valoare atinge maximum pentru B =0, când coincide cu permeabilitatea în origine a curbei de primă magnetizare, care se numeşte permeabilitate inițială:

$$\mu_{in} = \lim_{\Delta H \to 0}\left(\frac{\Delta B}{\mu_0 \cdot \Delta H}\right)_{H=0, B=0} \tag{15}$$

Materialele feromagnetice se împart în trei categorii distincte:

• Materiale magnetice moi, care au H_c < 80 A·s/m, deci un ciclu de histerezis îngust şi permeabilități foarte mari. Cel mai caracteristic material de acest fel este fierul moale, cu 4% SI şi permalloyul, cu 78,5% Ni şi 21,5% Fe;

• Materiale magnetice dure, care au H_c > 4000 A·s/m, deci ciclu de histerezis lat şi permeabilități mici. Cel mai caracteristic în acest sens este oțelul cu 1% C, aliajul Al-Ni-Co sau alnico cu 12% Al, 20% Ni, 5% Co şi 63% Fe.

Diferențele de comportare dintre materialele feromagnetice moi şi dure dispar dacă H > 2÷ 3 kA/m;

• Feritele, care sunt o clasă specială de materiale feromagnetice, formate din combinații de oxizi de fier, Fe_2O_3 cu oxizi de metale bivalente MO. Peritele se caracterizează prin inducții B_s şi B_r foarte mici (0,1 ... 0,4 T) şi prin pierderi neînsemnate prin curenți turbionari, în special la frecvențe înalte.

În tabelul 2 se indică valorile principalelor mărimi magnetice la unele tipuri de oțeluri şi fonte.

Coroborând datele din tabel cu cele rezultate din figura 2 se constată că pentru câmpuri de peste 2000 A/m se depăşeşte punctul de saturație corespunzând permeabilității relative maxime, adică:

$$|B|_{\mu_{r\,max}} = \mu_0 \mu_{r\,max} |H|_{\mu_{r\,max}} \leq 0{,}72\ \mathrm{T} \tag{16}$$

Excepție fac unele oțeluri inoxidabile şi fontele cenuşii la care magnetizarea trebuie realizată cu valori mai ridicate ale mărimilor de câmp. După standarde, condițiile minime de magnetizare impuse la controlul cu pulberi magnetice [11], [57], sunt B =0,72 T, respectiv H_t = 2400 A/m.

Tabelul 2

Nr. crt.	Tipul oțelului, respectiv a fontei	H coresp. unei inducții de 0,72 T (A/m)	Inducția (T)		Câmpul magnetic coercitiv H_c (A/m)
			B_r	B_s	
1.	Oțeluri cu < 0,25% C	160 – 400	0,6 – 1,1	> 2,07	80 – 300
2.	Oțeluri cu 0.25 < C < 0,5%	480 – 1000	1,3 – 1,4	> 2,04	1100 – 1200
3.	Oțeluri C – Mn	900 – 1200	0,8 – 1,0	> 2,05	500 – 600
4.	Oțeluri slab aliate	1400 – 2000	0,8 – 1,5	> 2,05	900 – 2600
5.	Oțeluri inox 13% Cr normalizate	720 – 1200	0,8 – 1,2	1,6 – 1,8	300 – 750
6.	Oțeluri inox 13% Cr îmbunătățite	800 – 3200	0,6 – 1,1	-	1100 – 1500
7.	Oțeluri inox 15% Cr – 5% Ni în stare călită	3500 – 4000	-	-	-
8.	Oțeluri inox feritice	1600 – 2000	0,5 – 0,7	-	700 – 800
9.	Fonte cenuşii	3200 – 4000	-	1,6 – 1,8	-
10.	Fonte maleabile	320 – 800	-	1,8 – 1,9	-
11.	Fonte cu grafit nodular – feritice	320 – 500	-	1,8 – 2,0	-
12.	Fonte cu grafit nodular – perlitice	800 – 1200	-	1,6 – 1,8	-

15. FORMAREA CÂMPULUI MAGNETIC DE DISPERSIE ÎN DISCONTINUITĂȚI

Un corp feromagnetic este străbătut de linii de forță sau de linii de câmp. Dacă continuitatea piesei este întreruptă de discontinuități, neomogenități sau defecte având o permeabilitate magnetică diferită de cea a corpului, are loc o modificare bruscă a direcției liniilor de câmp.
Pentru înțelegerea fenomenelor care au loc pe suprafața de separație între două medii diferite se face uz de două legi de bază.

• Legea fluxului magnetic care se serie sub forma:

$$\Phi_\Sigma = \iint_\Sigma \overline{B} \cdot d\overline{A} = 0 \tag{17}$$

şi exprimă faptul că fluxul vectorului inducție magnetică printr-o suprafață închisă Σ este nul indiferent de forma suprafeței. Elementul orientat de suprafață $d\bar{A}$ este:

$$d\overline{A} = \overline{n}\ dA \tag{18}$$

unde reprezintă vectorul unitate normal la suprafață. Din legea fluxului magnetic se deduce teorema conservării componentei normale a vectorului inducție magnetică la trecerea dintr-un mediu (1) în alt mediu (2), adică:

$$B_{1n} = B_{2n} \tag{19}$$

• Legea circuitului magnetic, care într-un regim staționar se exprimă astfel:

$$U_{m\Gamma} = \Theta_{s\Gamma} + \frac{d\Psi_{s\Gamma}}{dt} \tag{20}$$

ceea ce indică că tensiunea magnetomotoare de-a lungul unei curbe închise de contur Γ este egală cu suma dintre solenația corespunzătoare curentului care străbate o suprafață deschisă, mărginită de conturul Γ şi derivata fluxului electric prin această suprafață. Din legea circuitului magnetic rezultă teorema conservării componentei tangențiale a vectorului intensitate de câmp magnetic la trecerea dintr-un mediu (1) în altul (2), adică vom avea:

$$H_{1t} = H_{2t} \tag{21}$$

Considerând suprafața de separație între două medii având permeabilitatea μ_1 respectiv μ_2, unde presupunem $\mu_r > \mu_2$, într-un punct considerat 0, intensitatea câmpului magnetic din planul de separație (H_t) şi inducția, situată normal pe suprafața de separație (B_n), ca şi componente ale vectorilor de câmp H şi B (figura 6), se află în relațiile (19), respectiv (21).

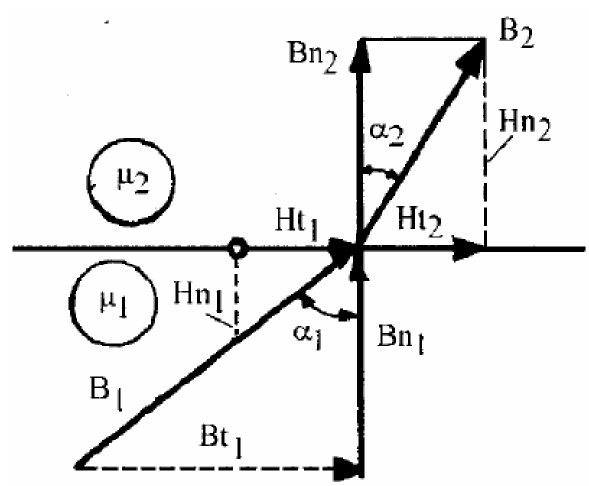


Fig. 6. Caracteristici ale câmpului magnetic la suprafața de separație între două medii având μ_1, respectiv μ_2

Pe de altă parte:

$$B_{1t} = \mu_1 H_{1t} \quad \text{şi} \qquad B_{2t} = \mu_2 H_{2t} \tag{22}$$

de unde rezultă:

$$\frac{B_{1t}}{B_{2t}} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \qquad (23)$$

Dacă se notează unghiul de intrare din mediul 1 în mediul 2, α_1 şi unghiul de iesire (refracție) în mediul 2, α_2, se poate scrie:

$$tg\alpha_1 = \frac{B_{1t}}{B_{1n}} \qquad \text{şi} \qquad tg\alpha_2 = \frac{B_{2t}}{B_{2n}} \qquad (24)$$

de unde prin folosirea relației (23) se obține legea refracției liniilor de câmp magnetic sub forma:

$$\frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2} = \frac{B_{1t}}{B_{2t}} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \qquad (25)$$

In cazul transferului liniilor de câmp din fier (indice Fe), în aer (indice A), având în vedere $\mu_{Fe} = 10^2 \div 10^3$ şi $\mu_A = 1$, unghiul de refracție în aer va fi:

$$tg\alpha_A = \frac{tg\alpha_{Fe}}{\mu_{Fe}} \qquad (26)$$

Dacă liniile de câmp în fier întâlnesc suprafața de separație cu aerul sub un unghi de $\alpha_{Fe} = 45°$ şi permeabilitatea $\mu_{Fe} = 100$, rezultă $tg\alpha_A = 0,01$, ceea ce corespunde unui unghi de refracție $\alpha_A \approx 0,5°$, adică ieşirea liniilor de câmp din piesă în aer se realizează practic perpendicular la suprafața respectivă.

Aceeaşi lege guvernează şi la transferul liniilor de câmp dintr-un spațiu în care are loc o distribuție omogenă, spre o piesă feromagnetică. În acest caz, se produce atât o deviere a liniilor în spațiul apropiat de piesa feromagnetică, cât şi o concentrare a lor în interiorul acesteia.

Analizând traiectoria liniilor de câmp magnetic în zona unei discontinuități deschise la suprafață (de exemplu fisura), respectiv în zona unei discontinuități incluzionate în material în apropierea suprafeței, se pun în evidență modificări esențiale, figura 7.

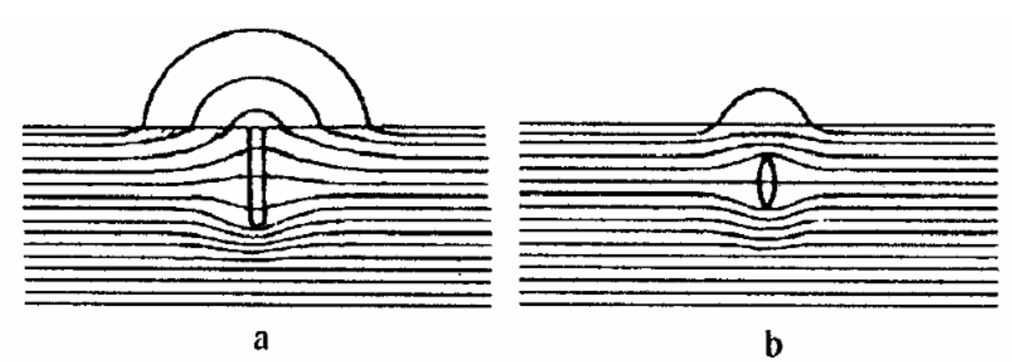


Fig. 7. Formarea câmpului magnetic de dispersie în jurul discontinuităților: a - deschise la suprafață; h - incluzionate in secțiune

Urmare a micşorării permeabilității $\mu_A \ll \mu_{Fe}$ are loc o mărire a rezistenței magnetice în discontinuitate. Intr-adevăr, dacă se consideră expresia tensiunii magnetice în axa unui tub de flux magnetic de lungime l suficient de subțire pentru a putea considera o repartiție uniformă a fluxului în secțiune şi cum $\bar{B} \parallel \bar{H} \parallel \bar{dl}$, se poate scrie:

$$U_m = \int_c \bar{H} \cdot \bar{dl} = \int_c \frac{\bar{B}}{\mu} \bar{dl} = \int_c \frac{\Phi}{A \cdot \mu} \bar{dl} = \Phi \int_c \frac{\bar{dl}}{\mu \cdot A} \tag{27}$$

unde reluctanța tubului de flux are expresia:

$$R_m = \int_c \frac{dl}{\mu \cdot A} \tag{28}$$

- A fiind secțiunea transversală străbătută de fluxul Φ.

Dacă în secțiunea lipsită de discontinuitate fluxul magnetic este:

$$\Phi_1 = B_1 \cdot A \tag{29}$$

iar în secțiunea cu discontinuități fluxul magnetic este

$$\Phi_2 = B_2(A - a) \tag{30}$$

$$B_2 = \frac{B_1 \cdot A}{A - a} > B_1 \tag{31}$$

În această situație se disting două cazuri:

• intensitatea câmpului magnetic $H_2 < |H|_{\mu_{max}}$; în acest caz cu $B_2 > B_1$ pe curba $\mu = f(H)$ corespunde $\mu_2 > \mu_1$ şi deci creşterea permeabilității compensează scăderea ariei efective A - a, de unde şi $R_{m2} \approx R_{m1}$ astfel încât nu se formează un câmp magnetic de dispersie;

• intensitatea câmpului magnetic $H_2 > |H|_{\mu_{max}}$ în acest caz cu $B_2 > B_1$ îi corespunde pe curba $\mu = f(H)$ un $\mu_2 < \mu_1$ şi deoarece şi secțiunea A scade la A - a, reluctanța creşte în mod substanțial. Liniile de flux vor ocoli discontinuitatea şi vor fi obligate să se închidă prin aer.

În general liniile de câmp comportă următoarele modificări:

• cele aflate în interiorul piesei sunt obligate să ocolească discontinuitatea, provocând îndesirea în jurul vârfului acesteia;

• parte traversează spațiul dintre suprafețele fisurii;

• liniile aflate mai la suprafață ies din piesă şi se închid prin aer şi, potrivit legii refracției, ieşirea lor din piesa se produce aproape perpendicular pe suprafață.

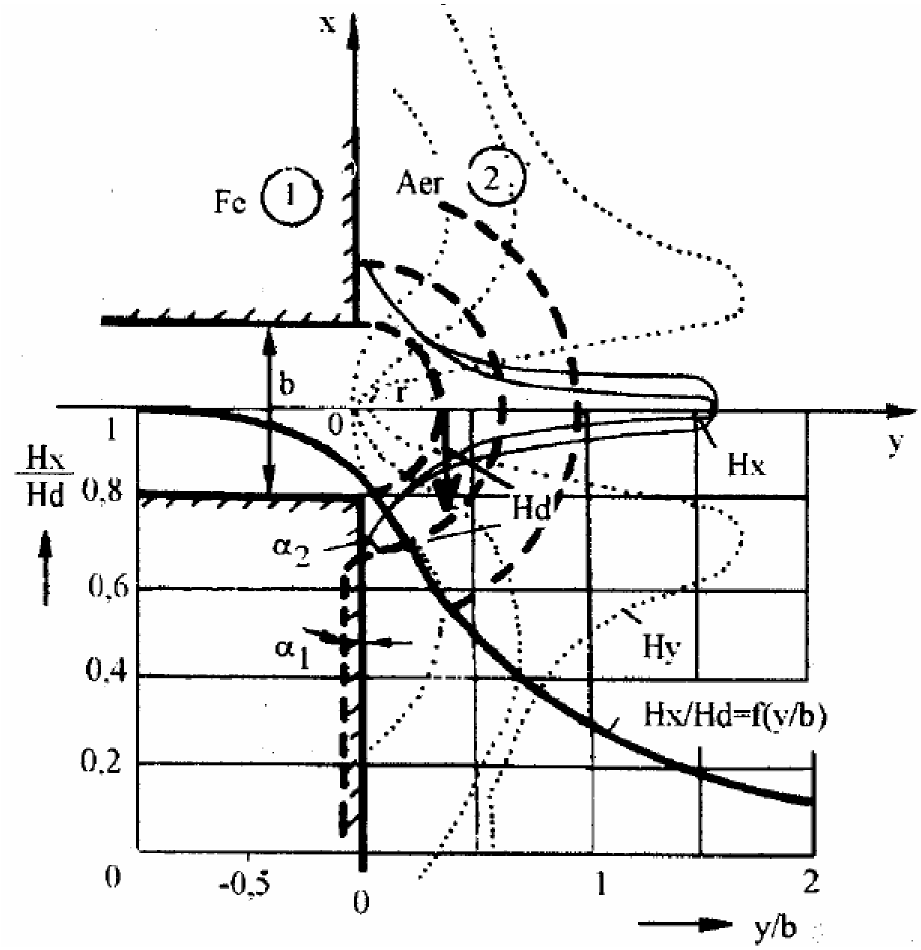


Fig. 8. Distribuția componentelor câmpului magnetic în jurul unei fisuri de adâncime nelimitată

Liniile din ultima categorie formează fluxul magnetic de dispersie. Cum spațiul de ocolire a discontinuității este incomparabil mai mare decât spațiul discontinuității propriu-zise, capacitatea de observare-indicare a defectelor este foarte ridicată.

Câmpul magnetic de dispersie într-o discontinuitate dreptunghiulară de lățime (deschidere) b şi de adâncime infinită pe direcția y s-a calculat folosind relațiile de transformare Schwarz - Cristoffel ale reprezentării conforme. Modelul acestui câmp este reprezentat în figura 8.

Se relevă variația câmpului de dispersie din discontinuitate H_x în funcție de componentele sale Hs şi Hy şi de raportul y/b. Dacă pe adâncime până în stratul superficial $H_x = H_d = B_{Fe}$ din cauză că $\mu_A = 1$ pe direcțiile X s) y, Valorile componentelor tangențiale şi normale ale câmpului se calculează din relațiile

$$H_x = H_d \frac{b}{\pi} \cdot \frac{y}{x^2 + y^2} = \frac{H_d}{\pi} \cdot \frac{y/b}{(r/b)^2}$$

$$H_y = H_d \frac{b}{\pi} \cdot \frac{x}{x^2 + y^2} = \frac{H_d}{\pi} \cdot \frac{x/b}{(r/b)^2} \qquad (32)$$

Rezultă că liniile câmpului de dispersie sunt semicercuri concentrice În raport cu planul de simetrie a discontinuității, iar variațiile acestora prezintă singularități în axa de simetrie. Variația câmpului tangențial perpendicular pe discontinuitate se obține făcând x =0 în relația (32):

$$\frac{H_{x\ max}}{H_d} = \frac{b}{\pi} \cdot \frac{1}{y} = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{y/b} \qquad (33)$$

Dependenta $H_x/H_d = f(y/b)$ este reprezentată cu linie plină în figura 8.

Lățimea câmpului de dispersie b' > b ale unor discontinuități circulare cu diametrul d, este funcție de adâncimea h la care se află, conform relației demonstrate în lucrarea [14]:

$$b' = 0{,}7h + d \qquad (34)$$

Acest efect de lupă permite decelarea facilă a discontinuităților situate chiar subsuperficial în interiorul piesei.

Câmpul de dispersie este maxim atunci când liniile de flux interceptează perpendicular discontinuitatea. Pentru practică se consideră satisfăcător dacă unghiul format între liniile de câmp şi direcția discontinuității este cuprins între 45° şi 90°.

Dacă liniile de flux coincid cu direcția discontinuității nu se mai formează câmpul de dispersie si, ca urmare, defectul nu poate fi detectat.

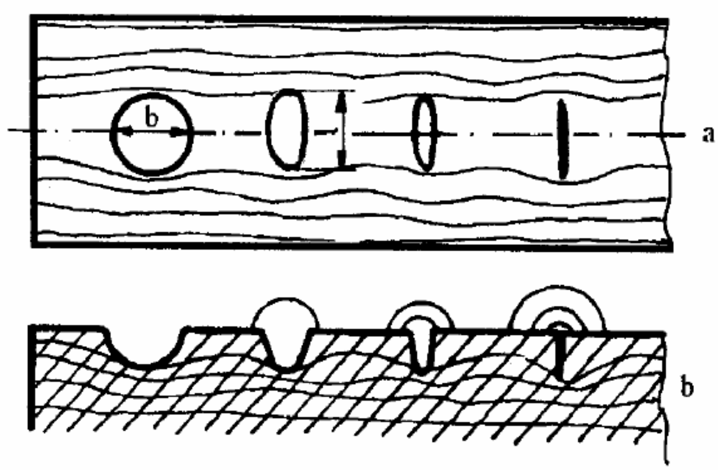


Fig. 9 Modificarea traiectoriei liniilor de câmp magnetic in jurul discontinuităților de forme diferite

Analizând modul de variație a inducției câmpului magnetic de dispersie într-un defect de tip fisură, precum şi a permeabilității, cu creşterea intensității câmpului magnetic, se relevă următoarele:
câmpul magnetic de dispersie Ha creşte aproximativ liniar cu creşterea intensității câmpului până la valoarea corespunzătoare curbării bruşte a curbei de primă magnetizare B = f(H), după care rămâne aproximativ constant. Cum permeabilitatea μ corespunzătoare punctului de inflexiune a curbei de primă magnetizare, după un maxim începe să scadă, la valori ridicate ale magnetizării, tinzând la saturație spre valoarea 1, rezistenta magnetică devine foarte mare. Aceasta are ca urmare formarea câmpului de dispersie la orice neregularitate a suprafeței şi astfel îngreunează decelarea câmpului de dispersie provocat de defecte. De aceea se consideră că în funcție şi de material există un domeniu optim de magnetizare plasat în intervalul 50 - 100 A/cm.
Pe baza experiențelor efectuate de Förster [17], asupra variației permeabilității la diferite forme ale discontinuității, sferice, eliptice, liniare (fisuri) s-a demonstrat importanta raportului dintre lungime (1) şi lățime (b). Traseul liniilor de câmp este reprezentat în figura 9. La o inducție Bg, În material, intensitatea câmpului de disper sie în discontinuitate, depinde numai de raportul l/b şi de permeabilitatea μ, conform relației:

$$H_d = B_{Fe}\frac{1+\frac{l}{b}}{\mu+\frac{l}{b}} \qquad (35)$$

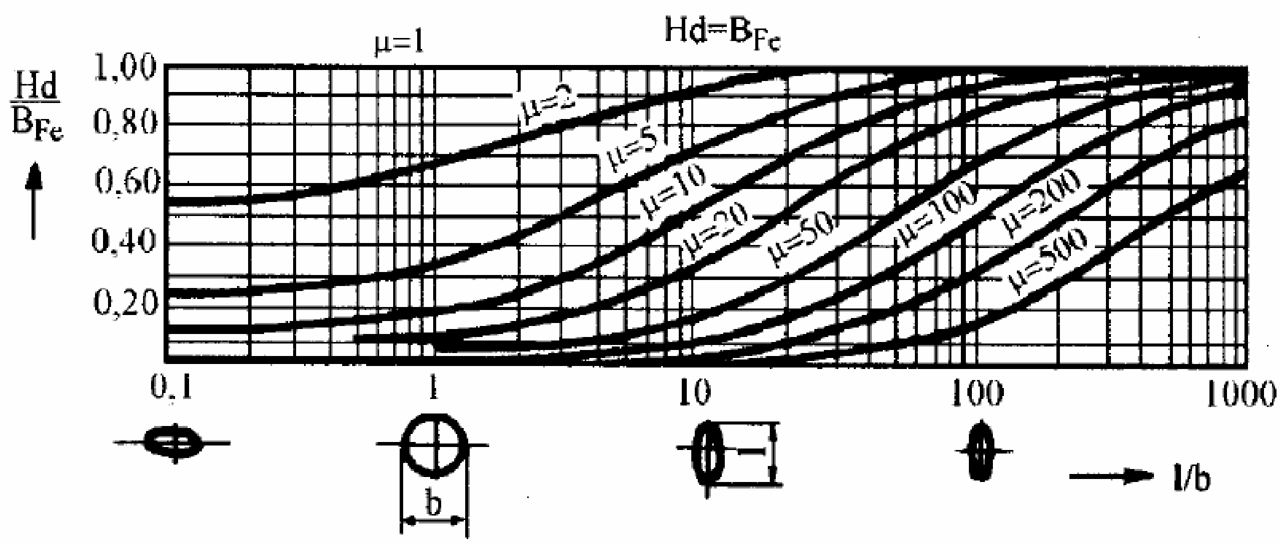


Fig. 10 Variația câmpului magnetic de dispersie la diferite forme de discontinuitate şi la diferite valori ale permeabilității

Relația (35) este reprezentată grafic în figura 10 pentru un domeniu acoperitor pentru aplicații ale raportului 1/b şi valori ale permeabilității cuprinse în intervalului μ = 1 ÷ 500. Se observă că la o anume formă a discontinuității, odată cu scăderea permeabilității, intensitatea câmpului magnetic în

defect, câmpul magnetic de dispersie, se măreşte. La o magnetizare foarte puternică, sau în cazul oțelurilor austenitice, permeabilitatea se apropie de valoarea 1. Astfel, câmpul magnetic din defect devine egal cu inducția din materialul feromagnetic Ha = BFe şi Ca urmare liniile de câmp trec prin defect fără a fi deviate. În cazul unei permeabilități foarte mari, liniile de câmp ocolesc discontinuitatea, câmpul magnetic în discontinuitate devine nul şi drept consecință nu se mai formează un câmp de dispersie.
La o permeabilitate constantă şi deci la un anumit grad de magnetizare, câmpul magnetic din defect creşte cu mărirea raportului 1/b, ceea ce are ca urmare faptul că metoda se pretează în primul rând la detectarea discontinuităților de tipul fisurilor.

Dacă se ia, de exemplu, curba corespunzătoare valorii $\mu = 20$, din figura 10 se constată că pe câtă vreme la un defect circular câmpul magnetic de dispersie în defect este aproape nul, la un defect de tip fisură câmpul magnetic de dispersie este egal cu câmpul magnetic din materialul feromagnetic (Hă s Br,).

16. PULBERI MAGNETICE

Pulberea magnetică trebuie să îndeplinească următoarele condiții generale;
• să fie dintr-un material cu permeabilitate ridicată şi câmp coercitiv cât mai mic (material feromagnetic moale);
• în funcție de procedeul de aplicare să asigure o granulație corespunzătoare şi cât mai omogenă;
• să asigure un contrast corespunzător pe suprafețele aplicate.

16.1. Clasificarea pulberilor magnetice

Pulberile magnetice pentru defectoscopie se pot clasifica în funcție de:

1. destinație:
   - pentru metoda uscată;
   - pentru metoda umedă;
2. natura suportului magnetic:
   - cu suport magnetic pe bază de pulberi de fier;
   - cu suport magnetic pe baza de pulberi de oxizi de fier magnetici;
   - cu suport magnetic pe bază de pulberi din aliaje feromagnetice;
3. culoare, cu variantele:
   - pulberi colorate (roşii, albe, negre, galbene şi fluorescente de culori diferite);
   - pulberi necolorate peliculizate;
4. granulație, dată de diametrul mediu al particulelor:
   - granulație fină - pentru fisuri fine, dg = 1 ÷ 15 μm, granulație specifică pentru pulberile în suspensie;
   - granulație medie - pentru fisuri mai mari d,=30 ÷ 100 μm;

- granulație grosieră - pentru piese turnate şi forjate, d, = 100 ÷ 300 μm, granulație specifică pulberilor uscate.

16.2. Proprietățile pulberilor magnetice

Pulberile magnetice pentru controlului defectoscopic sunt produse solide, granulație pe dimensiuni, colorate, necolorate sau luminofore.
În afară de dimensiuni, culoare, densitate, umiditate, puterea de acoperire, unghi de taluz ale particulelor, interesează, în primul rând, Proprietățile magnetice ale acestor pulberi.
Mărimea particulelor are deosebită importantă pentru sensibilitatea metodei.

Particulele cu dimensiuni mai mici asigură o sensibilitate mare cu condiția îndeplinirii unei permeabilități magnetice corespunzătoare. Pentru obținerea granulației particulelor în concordanță cu destinația urmărită se pot influența condițiile de lucru astfel ca să se obțină predominant particule cu dimensiunile dorite.
Granulația pulberii, aşa cum rezultă şi în continuare joacă un rol deosebit de important asupra relevării câmpului magnetic de dispersie. Se ia în considerație pe de o parte capacitatea de vizualizare a zonelor de discontinuitate, iar pe de altă parte pragul de sensibilitate. Funcția densității de probabilitate I şi funcția de repartiție 2 a diametrului echivalent al pulberilor utilizate în procedeul umed sunt prezentate după [50], [57], în figura 11. Intersecția funcției de repartiție cu probabilitățile p=90%, p=50% şi p=10%, determină valorile minime, medii şi maxime ale diametrului echivalent. Din punct de vedere al aspectului microscopic granulația pulberii poate fi deosebit de variată. În micro-fotografille electronice Foto 1 şi Foto 2, realizate la o mărire de 5.000 ori sunt arătate două forme tipice de granulație: granulație globulară obținută la o pulbere de trioxid de fier (Foto 1), respectiv o granulație sub formă de bastonaşe, obținută la o pulbere fluorescentă (Foto 2).
Culoarea are importantă specială asigurând un contrast cât mai mare între suprafața piesei controlate şi pulberea respectiva. Practic, pentru piese de culoare gri sau piese strălucitoare se folosesc pulberi roşii, iar pentru piese de culoare roşie oxidate sau acoperite electrolitic se folosesc pulberi negre.
Puterea de acoperire a pulberii magnetice este dată de capacitatea acesteia de a se dispersa pe o anumită suprafață şi se exprimă în cm^2/g. Este de dorit ca această putere de acoperire să fie cât mai mare, dar ea este strâns corelată cu granulația pulberii. Astfel, cu cât granulația este mai mică (pulberea mai fină) puterea de acoperire este mai mare.
Pentru o anumită pulbere unghiul de taluz reprezintă o caracteristică bine determinată. El depinde de mărimea particulelor, forma, densitatea lor, coeficientul de frecare particulă - particulă.

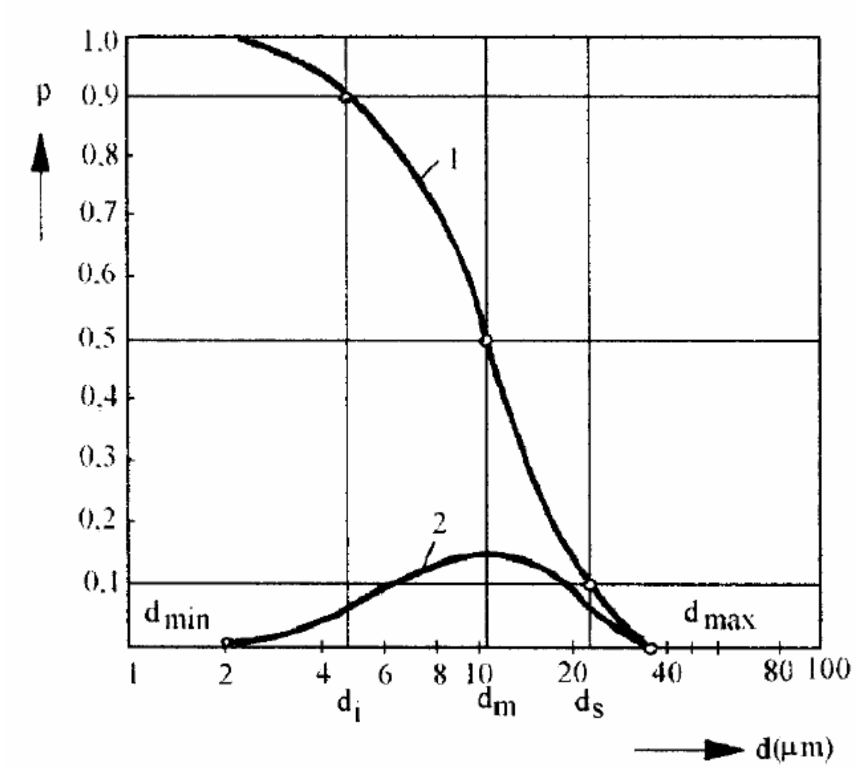
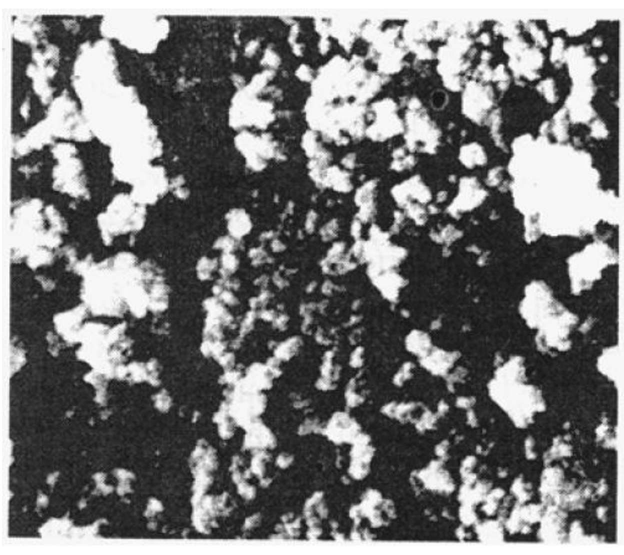
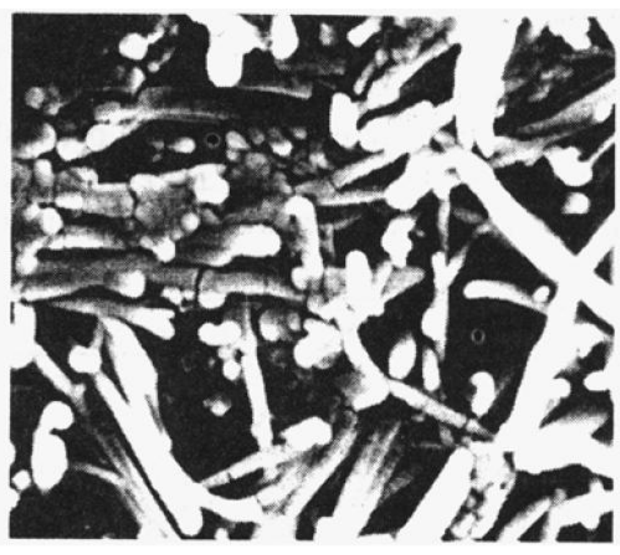


Fig. 11. Funcțiile densității de probabilitate, respectiv de repartiție ale mărimii pulberilor magnetice



globulare la pulberea γ=Fe_2O_3x500



Cu aspect de bastonaşe a pulberii fluorescente

Microfotografia electronică a granulației

Proprietățile magnetice ale pulberilor magnetice colorate au importantă deosebită asupra aprecierii calitative a acestora.

Variația inducției magnetice (B) În funcție de câmpul aplicat (II). rezultă din studiul curbei de magnetizare. Intre pulberea magnetică uscată şi suspensia magnetică colorată sau fluorescentă există diferențe semnificative din acest punct de vedere.

Astfel, la suspensiile magnetice permeabilitatea este sub jumătate din cea obținute la pulberile uscate cenuşii. În timp ce câmpul coercitiv Hc şi inducția remanentă Br, sunt superioare, diferențele respective

depind. în mod esențial de mărimea câmpului de magnetizare. Acestea rezultă în mod concludent din variația raportului Br/Bs. redat după [20] pe tipuri de pulberi, în tabelul 3.

Tabelul 3

Felul substanţei	B_r/B_s	
	H = 400 A/cm	H = 40 A/cm
Pulbere uscată cenuşie	0,031	0,064
Suspensie neagră	0,381	0,044
Suspensie fluorescentă	0,310	0,048

Concentrația pulberii magnetice în suspensie este diferită în funcție de parametri de magnetizare, tipul pulberii. pigmentului şi felul lichidului purtător. Pentru a conferi o calitate corespunzătoare, suspensia trebuie să conțină şi un antispumant şi un anticoroziv. De regulă, ea se încadrează în limitele 0,5 ÷ 3 gA pentru pulberea fluorescentă şi I ÷ 10 g/l pentru pulberea obişnuită [] l]. Cercetări experimentale, [55), au demonstrat că cu cât concentrația este mai mare, curentul necesar este mai mic.
Densitatea pulberii magnetice influențează calitatea acesteia şi depinde în bună parte de natura suportului magnetic şi de cantitatea de liant şi pigment folosită. Este de dorit ca pentru o anume granulație, densitatea să fie cât mai mică, dacă celelalte Proprietăți fizice şi magnetice rămân constante.

16.3. Materii prime şi auxiliare folosite pentru preparare

Ca suport magnetic pentru pulberile granulate se folosesc: magnetită, Fe304, trioxid de fier, y - Fe2O3 şi pulbere de fier.
Magnetita - Fe304 - este de culoare neagră şi se prezintă sub formă de pulbere foarte fină, care se orientează rapid În câmpului magnetic al defectoscopului.
Pulberea de magnetită se obține din sulfat feros FeSOg7H2O prin precipitare cu bicarbonat de amoniu. Există şi alte metode de obținere a acestei pulberi, dar magnetizările produse cu pulberile astfel obținute sunt superioare.
Trioxidul de fier - T - Fe2O3 este de culoare maro, are o magnetizare cu 10 - 15% mai mică decât magnetita şi este foarte reactiv din punct de vedere chimic. Trioxidul de fier - y - Fe2O3 se obține în condiții de laborator prin calcinarea magnetitei.
Pulberea de fier se obține prin reducerea trioxidului de fier forma altropă a - Fe2O3, prin procedee specifice pulberilor metalice sau în urma prelucrărilor mecanice, ca produs secundar.
Lianții sunt substanțe anorganice sau organice incolore compatibile cu pulberea şi pigmentul şi trebuie să asigure o granulare uşoară şi un coeficient mic de frecare pe suprafața piesei.
Un contrast superior se obține prin folosirea amestecului de pu1bere magnetică cu particule fluorescente. Ca luminofori se folosesc tetraclorura de carbon, antracenul sau dibenzantracenul cu amestec de pigment alb litopon, oxinatul de zinc, oxinatul de magneziu, respectiv de cadmiu. Oxinatul de zinc produce o intensitate maximă a spectrului de emisie la lungimi de undă de 520 nm [7], ceea ce corespunde culorilor verde deschis - galben-verde.

Suspensia foloseşte, în principal, următoarele lichide purtătoare: petrol, ulei mineral, cu vâscozitate sub I - 2° E, amestecuri de petrol cu ulei mineral, sau amestecuri de apă cu anticoroziv şi detergent pentru evitarea efectelor nocive de corodare, emulsionare şi pentru micşorarea tensiunii superficiale.

16.4. Forțe de interacțiune asupra pulberii magnetice

Asupra pulberii magnetice, dispuse pe suprafață prin procedeul umed, acționează următorul sistem de forțe, figura 12:
• forța de orientare a câmpului de dispersie produs de discontinuitate;
• forța de rezistență hidraulică la deplasarea particulei în suspensie;
• forța de frecare pe stratul limită la suprafața piesei;
• forța gravitațională.
Forța de orientare a câmpului produce deplasarea particulelor din suspensia magnetică în locurile de concentrație maximă a liniilor de flux, apropiindu-le de locul discontinuității. Forța de atracție depinde de dimensiunile particulei, de Proprietățile magnetice ale acesteia, de intensitatea câmpului H4i mai ales de variația acestuia pe direcția fluxului:

$$F_c = \chi \cdot V_0 \overline{H}_d \frac{d\overline{H}_d}{dx} \qquad (36)$$

un_de: Vo este volumul particulei; dHa/dx gradientul câmpului pe lungimea particulei; X = μr – I susceptivitatea magnetică.
Pentru un material dat şi un câmp determinat, relația poate fi scrisă în funcție de dimensiunea medie d, a particulelor feromagnetice:

$$F_c = a \cdot d_g^{\,3} \qquad (37)$$

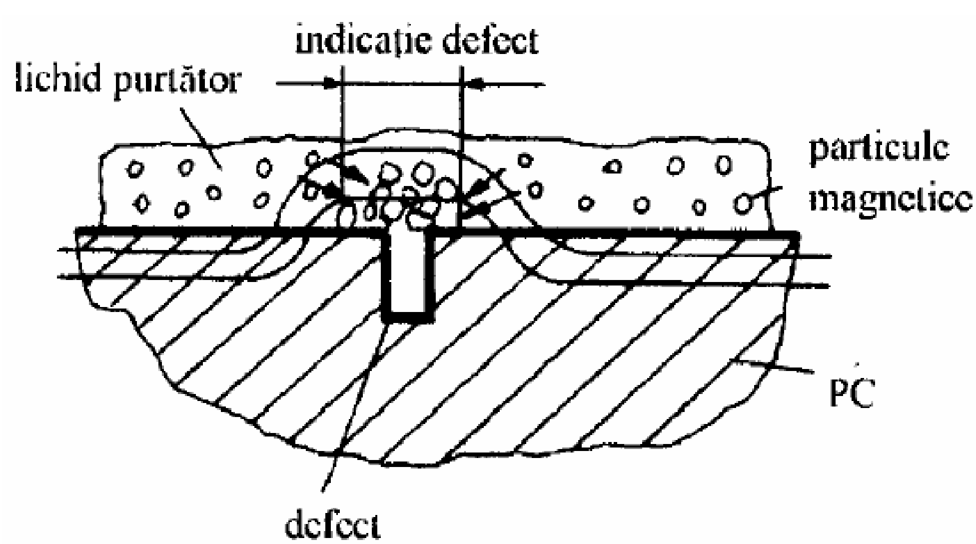


Fig. 12. Mişcarea pulberilor în câmpul magnetic de dispersie a discontinuităților

Forța de rezistență hidraulică la deplasarea particulelor în lichidul în care se găseşte în suspensie este proporțională cu suprafața acestora:

$$F_h = b \cdot d_g^{\,2} \tag{38}$$

Forța de frecare pe suprafața piesei este proporțională cu greutatea particulei:

$$F_f = c \cdot d_g^{\,3} \tag{39}$$

Ca urmare, forța rezultantă, care acționează asupra particulei în apropierea unei discontinuități este:

$$F_r = F_c - (F_h + F_f) = \left(a - c - \frac{b}{d} \right) \cdot d_g^3 \tag{40}$$

Dacă se ține seama şi de expresia forței de atracție magnetică, se observă că, în funcție de dimensiunile discontinuității, există o granulație optimă a particulelor pentru care forțele perturbatoare sunt minime şi ca urmare sensibilitatea metodei, maximă. La stabilirea granulației optime a particulelor feromagnetice se consideră modelul câmpului de dispersie format în jurul unei fisuri infinite de lățime b, figura 13. Variația câmpului magnetic în valoare absolută, curba (Ha), indică maxime în dreptul polilor (+) şi (-). Gradientul câmpului variază ca derivata acestuia conform curbei (dH/dx), trasată cu linie întreruptă, iar forța de atracție F, potrivit liniei întrerupte subțiri. Se evidențiază astfel că forța de atracție în câmpul magnetic de dispersie scade pe măsura măririi distanței față de poli cu o iuțeală mai mare decât însuşi câmpul Hd. În această situație, particulele în suspensie se vor orienta din punct de vedere magnetic şi vor fi atrase dacă dimensional este satisfăcută condiția $d_g < b/4$. Forța gravitațională se manifestă când examinarea se face în plan înclinat, sau când examinarea se face peste cap. Forța gravitațională acționează în sens opus forței de atracție magnetică micşorând sensibilitatea de detectare a defectelor.

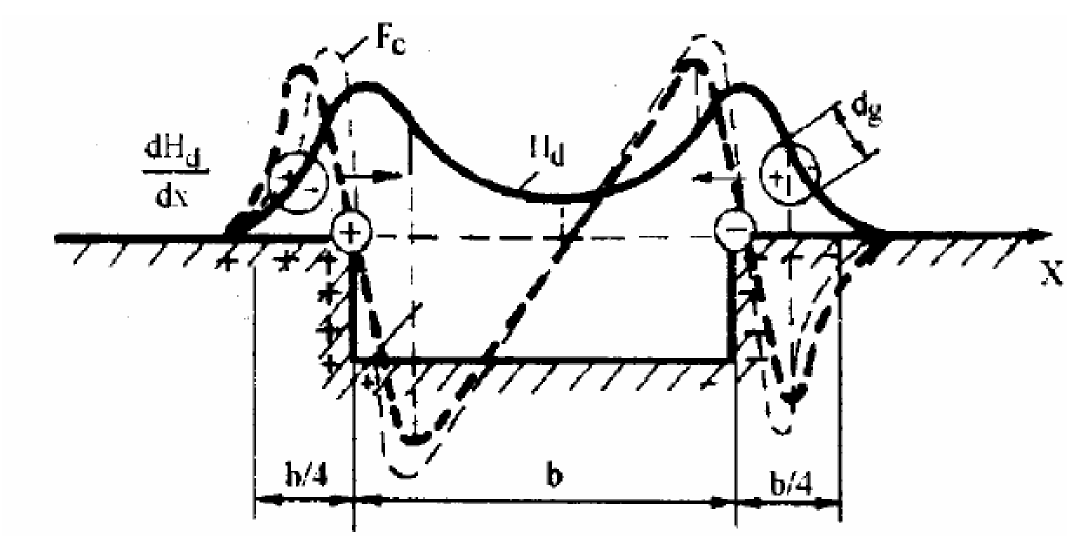


Fig. 13 Distribuția câmpului de dispersie, variația transversală a acestuia şi forțele de câmp in zona discontinuității

16. 5. PROCEDEE DE MAGNETIZARE

Magnetizarea piesei reprezintă o fază indispensabilă examinării cu pulberi magnetice şi urmăreşte producerea unei inducții magnetice suficiente la suprafața piesei. Posibilitățile de magnetizare fiind foarte largi, se impune o selectare judicioasa În funcție de forma şi dimensiunile piesei, precum şi de tipul defecțiunilor urmărite.

In tabelul 4 sunt prezentate principalele 17 metode folosite în mod curent în tehnologia controlului.

Procedeele de magnetizare se împart după modul de orientare a câmpului magnetic din piesa, în:

L) magnetizare polară sau longitudinală;

2) magnetizare circulară sau transversală;

3) magnetizare mixtă.

Tabelul 4

Procedeu de magnetizare	Variante de obținere a câmpului magnetic	Tip de curent	Simbol
Polară (Longitudinală)	Cu jug magnetic	Magnet permanent	PJMP
		Curent continuu	PJCC
		Curent alternativ	PJCA
		Impulsuri de curent	PJIC
	Cu bobină de magnetizare	Curent continuu	PBCC
		Curent alternativ	PBCA
		Impulsuri de curent	PBIC
Circulară (Transversală)	Electrozi de contact	Curent continuu	CECC
		Curent alternativ	CECA
		Impulsuri de curent	CEIC
	Conductor interior	Curent continuu	CCCC
		Curent alternativ	CCCA
		Impulsuri de curent	CCIC
	Prin inducție	Curent alternativ	CICA
		Impulsuri de curent	CIIC
Mixtă	Jug magnetic şi electrozi de contact	Curent continuu	MJEC
		Curent alternativ	MJEA

Aparatele utilizate la detectarea defectelor se numesc defectoscoape. Ca tipuri constructive se deosebesc defectoscoapele universale Axe cu facilități mai largi de magnetizare (magnetizare mixtă), reglare, de aşezare a piesei şi de demagnetizare etc. si defectoscoape specializate pentru un anumit tip de piese. La piesele mari se foloseşte magnetizarea parțială cu ajutorul defectoscoapelor portabile, în cel puțin două direcții pentru a detecta discontinuitățile, indiferent de orientarea lor.

16.5.1. Criterii de alegere a curentului de magnetizare

Tipurile de curent întrebuințate de diferitele procedee de magnetizare, schemele de redresare, valoarea şi variația în timp sunt prezentate în tabelul 5.
Curentul continuu - C.c. - se alege atunci Când se doreşte obținerea unui efect de adâncime. Pe baza unor experimentări sistematice efectuate asupra unei piese cu orificii cu diametrul de 2 mm, plasate la diferite adâncimi, [53], rezultă că prin utilizarea c.c., adâncimea de detectare a câmpului de dispersie este de 8 ori mai mare decât în cazul curentului alternativ. Inducția realizată este invers proporțională cu suprafața secțiunii transversale a piesei. Se pretează în bună măsură la controlul pieselor lungi şi de mari dimensiuni.
Curentul alternativ. Dacă magnetizarea se produce într-un câmp variabil în material se induc curenți turbionari. Câmpul magnetic al acestora acționează contrar câmpului aplicat din exterior. Pe de altă parte curentul alternativ provoacă efectul pelicular de distribuție neomogenă a acestuia în secțiune. Inducția produsă la suprafață este invers proporțională cu perimetrul secțiunii piesei. Urmarea directă este obținerea unei magnetizării maxime la suprafața piesei. Adâncimea de pătrundere a (mm) este definită ca distanță de la suprafața conductorului la care amplitudinea câmpului electromagnetic scade la 1/e din valoarea înregistrată la suprafață. Ea depinde esențial de frecventă şi se calculează cu relația:

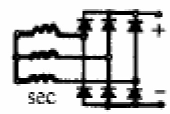
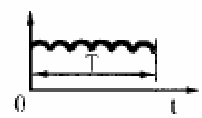
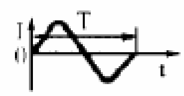
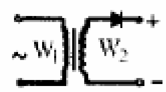
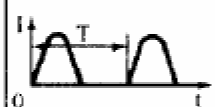
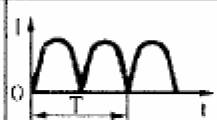
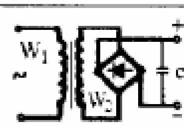
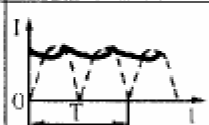
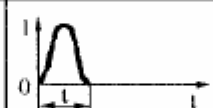
$$a = \frac{503}{\sqrt{\mu_r \cdot f \cdot \lambda}} \tag{41}$$

unde f - este frecventa curentului (Hz), μ,. - permeabilitatea relativă a materialului (H/m) iar A - conductivitatea electrică (m/R mm2
Folosirea c.a. este optimă când se doreşte detectarea unor discontinuități foarte fine de la suprafața piesei, respectiv controlului de serie a unor piese mici şi mijlocii. În schimb, nu este convenabil În cazul pieselor lungi.
Alimentarea în curent alternativ prezintă şi avantajul unei soluționări simple a demagnetizării, chiar în instalația de magnetizare, prin scăderea curentului la zero.
Curentul pulsat combină în fapt avantajele celor două cazuri anterioare. Experimentări comparative cu cele descrise au demonstrat că adâncimea de detectare poate ajunge de 7 ori mai mare decât în cazul alimentării în c.a. Coeficientul de umplere al curentului pulsat reprezintă un factor important în detecția defectelor, deoarece deplasarea pulberii în câmpul magnetic depinde atât de intensitatea câmpului, cât şi de durată. În cazul în care curentul este întrerupt o anumită durată, valoarea efectivă a curentului este influențată, potrivit relației:

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt} \tag{42}$$

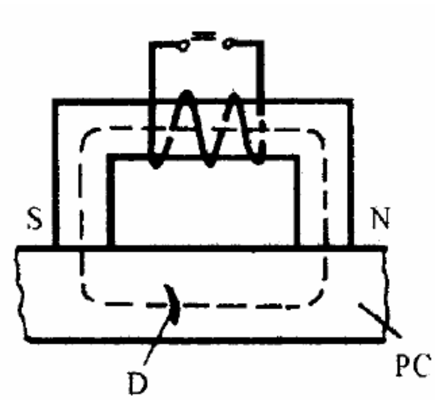
unde i(t)- este valoarea instantanee a curentului în perioada T.

Tabelul 5

Felul curentului	Tipul redresării	Simbol	Valoare	Schemă de redresare	Variația curentului în timp
Curent continuu	Fără	c.c.	$I_{ef} = I_{max}$		
	Redresare în punte trifazată	c.c.	$I_{2\,ef} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} I_c$ $I_c = 1,12\, I_{2\,ef}$		
Curent alternativ	-	c.a.	$I_{ef} = 0,7\, I_{max}$ $I_{max} = 1,41\, I_{ef}$		
Curent redresat fără filtrare	Monofazată simplă	M	$I_c = 0,45\, I_{2\,ef}$		
	Monofazată în punte	B	$I_{ef} = 0,7\, I_{max}$ $I_c = 0,9\, I_{2\,ef}$		
Curent redresat cu filtrare	Monofazată în punte cu filtre	F	$I_c = f(I_{2\,ef};\, C;\, L)$		
Impulsuri periodice de curent	-	P	I_{ef} I_{max}		
Impuls singular de curent	-	S	I_{ef} I_{max}		

16.5.2. Magnetizarea longitudinală sau polară

Magnetizarea longitudinală sau polară poate fi realizată, fie cu ajutorul unui magnet permanent sau a unui electromagnet reprezentat în figura 14, alimentat în c.c. sau c.a., care introduce fluxul în piesa de controlat prin capetele polare, fie cu ajutorul unei bobine, figura 15, în care se introduce piesa de controlat. În ambele cazuri, câmpul magnetic străbate piesa în lungime, fiind avantajos orientat pentru decelarea cu predilecție a discontinuităților orientate transversal în piesă.



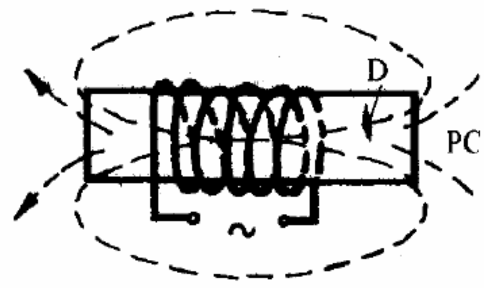


Fig. 14 Magnetizare polară cu jug Fig. 15 Magnetizare polară cu bobină.
PC-piesă magnetic, PC-piesă de controlat; de controlat: D-defect

16.5.2.1. Magnetizare cu magnet permanent

Magnetizarea cu ajutorul magnetului permanent este frecvent utilizată în cazul pieselor mai mici sau în cazul construcțiilor realizate din semifabricate subțiri. Principalul dezavantaj al magnetizării cu magnet permanent constă în faptul că nivelul de magnetizare al piesei nu poate fi reglat şi/sau controlat. De aceea, pentru verificarea câmpului magnetic se determină forța portantă sau forța necesară desprinderii unei piese feromagnetice de pol. Ea se calculează cu relația:

$$F = \frac{B^2 \cdot A}{2\mu_0} \tag{43}$$

unde B este componenta inducției magnetice în vecinătatea polului şi dirijată perpendicular pe suprafața transversală a acestuia (T), A - secțiunea polului (m^2) μo - permeabilitatea magnetică a vidului (H/m). Un magnet permanent corespunzător prezintă în zona polului o inducție B = 1,5T. La piese mici şi subțiri, datorită suprafeței limitate de răspândire a fluxului magnetic se obține inducția minima necesara efectuării controlului de 0,72T. La piesele groase, inducția este scăzută, la suprafața acestora neîndeplinindu-se condiția menționată.
În absenta unui criteriu riguros controlabil se consideră cu magnetizarea este corespunzatoare dacă forța portantă este suficientă pentru a ridica cu magnetul permanent o piesa feromagnetică în greutate de 18 kg.

16.5.2.2. Magnetizare cu jug electromagnetic

În cazul magnetizării polare cu jug electromagnetic portabil, adaptarea la suprafețele de contact aflate în planuri diferite se asigură prin folosirea polilor rabatabili. Fluxul magnetic se închide între doi poli ai electromagnetului, între capetele mobile ale jugului, iar zona controlată se consideră cuprinsă în cercul

înscris între poli. Datorită dispersiei, fluxul <>. care străbate piesa În secțiunea polară, este mai mic decât fluxul ϕ_m produs în jugul magnetic. Legătura dintre câmpul magnetic transversal He şi fluxul Q. este liniară, dependentă de: permeabilitatea piesei controlate, reluctanța jugului, magnetizația şi rostul sau distanta dintre suprafețele în contact pol - piesă. Cu creşterea distantei polare şi mai ales prin folosirea polilor rabatabili, ca urmare a măririi reluctanței jugului magnetic, are loc o scădere a fluxului magnetic şi o micşorare a coeficientului de regresie a dreptei H, = f(Q.), astfel încât magnetizația scade aproximativ proporțional cu distanta polară, iar fluxul magnetic într-o măsură sensibil mai mică. Având în vedere dependenta liniară H, =f(¢.), pentru ridicarea caracteristicii (curba 1 din figura 16) sunt necesare două puncte. După [45} o pereche de valori H, şi Q. se măsoară după aşezarea defectoscopului pe o placă din oțel nealiat de 500 x 500 x 10 mm lăsând un spațiu între suprafețele de aşezare a polilor şi suprafața plăcii de 0,5 mm. Cea de-a doua pereche de valori se măsoară direct în aer, unde se poate considera Q. = 0. Caracteristica defectoscoapelor portabile electromagnetice cu spatii între jug şi placă este indicată după [47] de curba 2 din în figura 16.

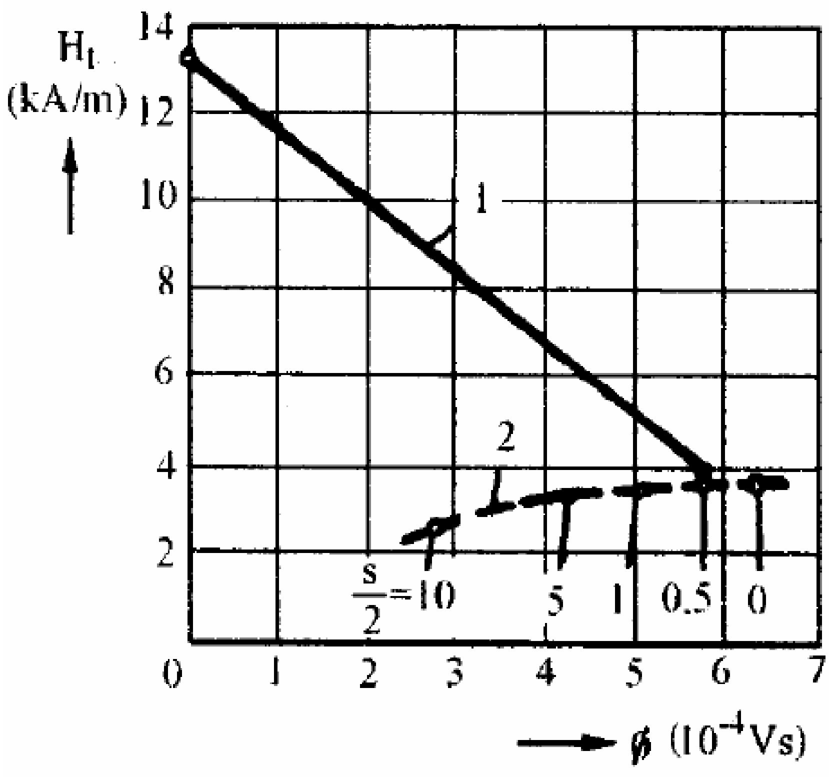


Fig. 16 Caracteristica H, = f(ϕ) a defectoscopului cu jug electromagnetic

Jugul magnetic cu bobină de c.a. este alimentat direct de la rețea. Condiția de magnetizare minimă se exprimă de asemenea prin forța de ridicare a unei piese de 4,5 kg greutate. Forța de ridicare a electromagnetului alimentat în c.a. este sensibil inferioară forței portante a magnetului permanent, la aceeaşi valoare 1 a inducției (Fe s =-F,e). Cu toate acestea datorită efectului pelicular, inducția la suprafața piesei atinge valoarea de 0,72 T. Distanta dintre polii jugului electromagnetic (1) este impusă după anumite norme la 200 mm sau la 300 mm. Considerând că zona controlata reprezintă cercul înscris între poli, cere de diametru 1, inducția la suprafața piesei va fi:

$$B_m = \frac{\Phi_m}{\pi l \cdot a} = \frac{A \cdot B_0}{\pi l \cdot a} \quad (44)$$

unde Bo este inducția în jugul electromagnetic, care corespunde inducției de saturație a materialului jugului Bo 2 2T, A este suprafața polului, 1- distanta dintre poli, iar a - adâncimea de pătrundere a câmpului magnetic.

Un alt reper de orientare în alegerea curentului de magnetizare îl reprezintă recomandarea unei valori de 200 - 300 A pentru 1 cm grosime a piesei. Dacă curentul de magnetizare se aplică direct pe suprafața piesei, el poate fi micşorat de 2 ÷ 3 ori.

Ín vederea obținerii unor efecte maxime la controlul îmbinărilor sudate unghiul format de linia polilor şi axa longitudinală a îmbinării va fi pe cât posibil de 90°, nu mai mic însă de 50°, [47].

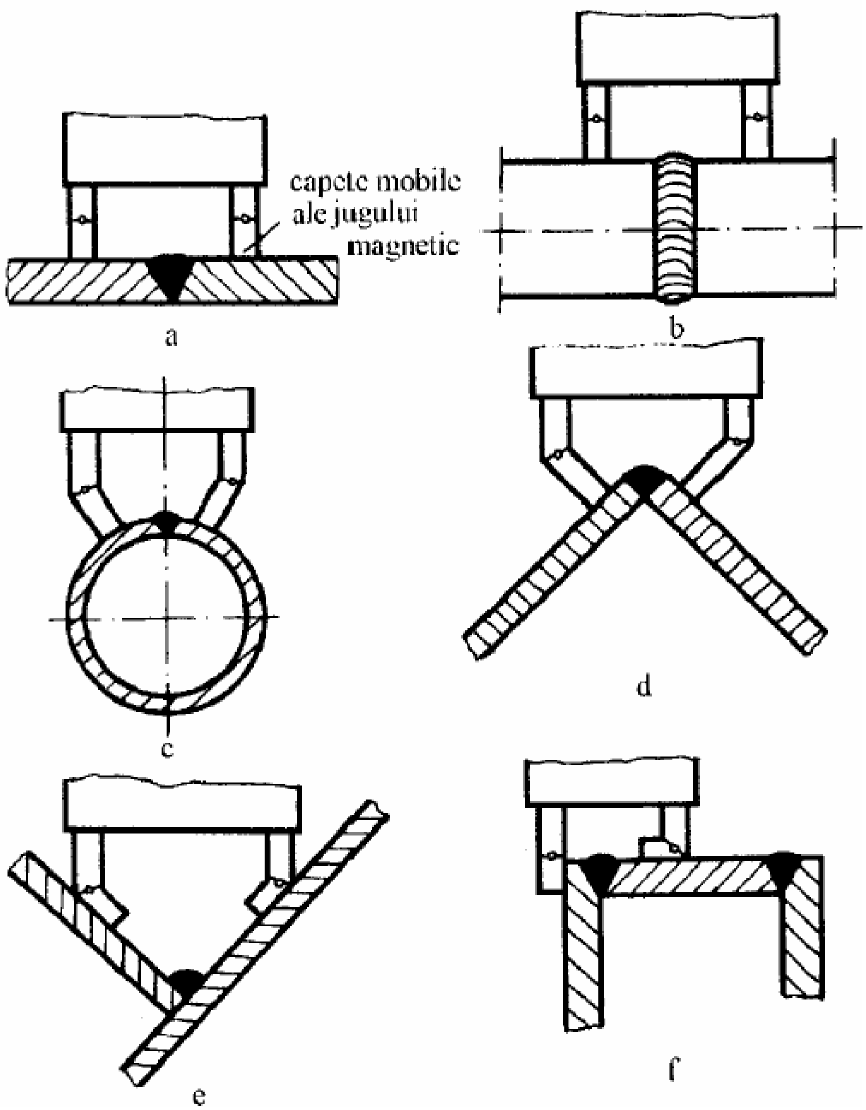


Fig. 17 Scheme de control a îmbinărilor sudate cu jug electromagnetic: a · îmbinare cap la cap; b îmbinare cap la cap circulară; e - îmbinare cap la cap pe generatoare; d îmbinare de colț în capete; e - îmbinare de cal f nepătrunsă în T: f - îmbinare de e of f pătrunsă la profile cheson

Pentru demagnetizarea piesei, între poli se interpune o bară din material feromagnetic moale, care are rolul de scurtcircuitare a câmpului.
Marele dezavantaj al electromagnetului portabil constă în imposibilitatea reglării câmpului funcție de dimensiunile piesei, grevând astfel şi asupra sensibilității de examinare. Pentru magnetizarea longitudinală a pieselor lungi de revoluție s-au construit electromagneți inelari, care permit mişcarea relativă de rotație şi de translație a piesei față de electromagnet.
Varietatea constructivă a defectoscoapelor portabile cu jug electromagnetic este deosebit de mare [8], [48], [60], [6]]. Majoritatea sunt construite cu distanta polară de 1 10 ÷ 170 mm şi asigură un câmp magnetic de 3 ÷ 9 KA/m.
Unele aplicații ale examinării cu jug electromagnetic portabil, cu poli ficşi, suplimentari de 45°, sau rabatabili, la construcții sudate, sunt prezentate în figura 17.

16.5.2.3. Magnetizare polară cu bobină

Magnetizarea cu ajutorul bobinei se pretează la controlul unor piese lungi şi alimentării în curent alternativ. Având în vedere că în acest caz câmpul magnetic este deschis la capetele pieselor, magnetizația este deosebit de mare. Pentru evitarea acestui neajuns, în cursul controlului, fie piesa, fie bobina se deplasează de-a lungul axei proprii. Dezavantajul bobinei constă în obturarea suprafeței controlate şi plasarea mai dificilă pe piesă. În cazul unor piese de forme mai complexe, în locul bobinei se pot folosi cabluri flexibile străbătute de curenți mari, care se înfăşoară în jurul piesei, în zona de examinare.

Câmpul magnetic al bobinei străbătute de un curent alternativ

Dacă pentru magnetizare se foloseşte o bobină parcursă de un curent alternativ, atunci câmpul H şi inducția magnetică B, variază periodic cu aceeaşi frecvență ca şi tensiunea u şi intensitatea curentului L Potrivit legii lui Faraday, într-un conductor circular străbătut de un flux magnetic, prin variația în timp a fluxului, se induce o tensiune numită tensiune electromotoare indusă e. Pornind de la tensiunea electromotoare, ca integrală pe un contur închis se obține:

$$e = \oint_{\Gamma} \overline{E} \cdot \overline{dl} = -\frac{d}{dt}\iint_{\Sigma} \overline{B} \cdot \overline{ds} = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(n\phi)}{dt} = -n\frac{d\phi}{dt} \qquad (45)$$

unde: ϕ este fluxul total al bobinei, prin suprafața E de contur T, - ϕ este fluxul elementar al unei spire a bobinei, iar n este numărul de spire al bobinei. Deci, tensiunea electromotoare indusă depinde de numărul spirelor bobinei şi de viteza de variație a fluxului prin bobină. Semnul minus indică faptul că tensiunea indusă e, este invers orientată față de tensiunea u, sau cu alte cuvinte fluxul indus se opune variației fluxului inductor şi ca urmare:

$$u + e = 0 \qquad (46)$$

Fluxul variabil poate fi produs pe mai multe căi:
• prin mişcarea relativă a unui miez magnetic față de spira străbătută de curent;

• prin variația curentului dintr-un circuit vecin, inductor;

• prin variația curentului electric din însăşi spira indusă, care joacă rolul de inductor. În ipoteza unui circuit magnetic liniar, cu un flux magnetic omogen şi uniform printr-o bobină, tensiunea electromotoare a circuitului se calculează astfel:

$$e=-n\frac{d\Phi}{dt}=-\frac{d}{dt}(BS)=-n\frac{d}{dt}(\mu HS)=-n\mu S\frac{dH}{dt}=-n\mu_0\mu_r S\frac{d}{dt}\left(\frac{nI}{l}\right)=-\frac{n^2\mu_0\mu_r S}{l}\cdot\frac{dI}{dt} \quad (47)$$

Inductivitatea proprie a unui circuit se defineşte ca fiind raportul pozitiv dintre fluxul total Q, prin circuit, şi curentul i al acelui circuit.

$$L=\frac{\Phi}{I}>0 \quad (48)$$

Astfel, tensiunea electromotoare se mai poate exprima:

$$e=-\frac{d\Phi}{dt}=-\frac{d}{dt}(LI)=-L\frac{dI}{dt} \quad (49)$$

Identificând relațiile (47) şi (49), se obține relația de calcul a inductivității unei bobine:

$$L=\frac{n^2\mu_0\mu_r S}{l} \quad (50)$$

Având în vedere tensiunea electromotoare, cât şi căderea de tensiune pe rezistenta înfăşurării, într-o bobină are loc o cădere de tensiune rezistivă şi o cădere de tensiune inductivă. Deci, căderea de tensiune într-o bobină este:

$$u=I\cdot R+L\frac{dI}{dt} \quad (51)$$

Tensiunea alternativă este descrisă de relația sinusoidală:

$$u=u_0\cdot\sin\varphi \quad (52)$$

în care e este unghiul de fază:

$$\varphi=\omega\cdot t=2\pi f\cdot t \quad (53)$$

Autoinducția provoacă defazarea în urma a curentului cu un unghi a, astfel încât:

$$I=I_0\cdot\sin(\varphi-\alpha) \quad (54)$$

Trecându-se la reprezentarea complexă a mărimilor respective, se poate serie:

$$\begin{aligned} u&=|u|\cdot e^{j\omega t}=u\sqrt{2}\cdot e^{j\omega t}\\ I&=|I|\cdot e^{j(\omega t-\alpha)}=I\sqrt{2}\cdot e^{j(\omega t-\alpha)} \end{aligned} \quad (55)$$

unde: U, respectiv I, sunt valori efective; UU, respectiv IU, sunt valori maxime.
Prin introducerea expresiilor (55) în relația (51) se obține relația:

$$\frac{U}{I}e^{j\alpha} = R + j\omega L = Z \tag{56}$$

unde Z reprezintă impedanța complexă a bobinei:

$$Z = |Z| \cdot e^{j\omega}; \qquad |Z| = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \tag{57}$$

În planul impedanței, se poate separa rezistenta ohmică R ca parte reală, de rezistența inductivă ωL, ca parte imaginară. Diferența de faza dintre curent şi tensiune se calculează din relația:

$$tg\alpha = \frac{\omega L}{R} \tag{58}$$

si este cu atât mai mare cu cât rezistenta inductivă este mai mare în comparație cu rezistenta ohmică. Dacă R = 0, a = 90°, ceea ce înseamnă că defazajul maxim de n/2 între tensiune şi curent se obține într-un circuit pur inductiv.

Considerând mărimile de câmp magnetic Ñ şi 5 în interiorul miezului magnetic al unei bobine parcurse de curent alternativ, are loc o variație în acelaşi ritm a câmpului magnetic, astfel încât intensitatea câmpului magnetic se poate exprima prin mărime complexă:

$$\overline{H} = |H| \cdot e^{j\omega t} \tag{59}$$

Inducția magnetică alternativă are o defazare în raport cu câmpul magnetic, astfel încât prin similitudine se poate serie:

$$\overline{B} = |B| \cdot e^{j(\omega t - \delta)} \tag{60}$$

unde: 6 este diferența de fază dintre Ü şi 5. Astfel, rezultă că permeabilitatea magnetică în curent alternativ este şi ea o mărime complexă:

$$\mu = \frac{\overline{B}}{\overline{H}} = \frac{|B| \cdot e^{j(\omega t - \delta)}}{|H| \cdot e^{j\omega t}} = \frac{B\sqrt{2}}{H\sqrt{2}} e^{-j\delta} = \frac{B}{H} e^{-j\delta} = |\mu| \cdot e^{-j\delta} = \mu\sqrt{2}\, e^{-j\delta} \tag{61}$$

micşorată însă în comparație cu cea de la magnetizarea în curent continuu. Această comportare îşi găseşte explicația prin faptul că în curent alternativ, pe baza efectului pelicular, materialul se comportă ca şi când numai stratul exterior ar fi feromagnetic.
Dacă se compară caracteristicile magnetice în mediul discontinuității (mediul 1) şi în mediul piesei feromagnetice (mediul 2) se observă următoarele. În mediul 1 (p =0; μ,= 1), intensitatea câmpului magnetic este |Ho|, iar în mediul 2 de rezistivitate p şi permeabilitate μ,, intensitatea câmpului este |H| şi variază după relația

$$|H| = |H_0| \cdot e^{-x/a} \qquad (62)$$

Densitatea de curent |J| se poate exprima funcție de intensitatea de câmp şi conductivitatea electrică1, cu relația:

$$|J| = \frac{H_0}{\lambda} \cdot e^{-x/a} \qquad (63)$$

Permeabilitatea în curent alternativ se calculează din cele două componente ale permeabilitățil inductive ca parte imaginară şi ale permeabilității rezistive ca parte reală, pe baza relației de compunere:

$$\mu = \sqrt{\mu_L^2 + \mu_R^2} \qquad (64)$$

şi este o mărime fizică fundamentală.

• Curentul de magnetizare

Magnetizația din piesă depinde de un număr mare de factori: materialul, forma şi poziția piesei în interiorul bobinei, geometria acesteia, curentul de magnetizare.
Intr-o ipoteză simplificatoare câmpul de magnetizare se poate exprima prin câmpul produs de bobină în absenta piesei de controlat.

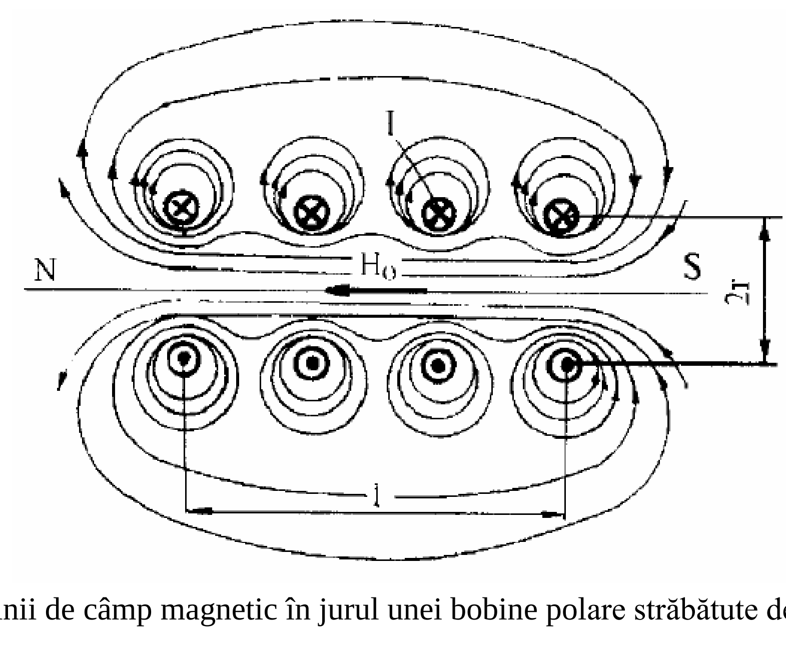


Fig. 18 Linii de câmp magnetic în jurul unei bobine polare străbătute de curentul I

Magnetizarea longitudinală utilizează bobine a căror caracteristică lungime raportată la diametru (figura 18) este cuprinsă în intervalul 5 < 1/2r 5 20.

Intensitatea câmpului magnetic în interiorul bobinei circulare Ho, depinde de solenație sau numărul de amperi - spire nI, raza bobinei, r şi de poziția punctului considerat în raport cu axa bobinei. În axa bobinei câmpul magnetic este:

$$H_0 = \frac{nI}{\sqrt{4r^2 + l^2}} \tag{65}$$

Dacă bobina este lungă l » 2r, se obține:

$$H_0 = \frac{nI}{l} \tag{66}$$

iar dacă bobina este plată:

$$H_0 = \frac{nI}{l} \tag{66}$$

În ipoteza în care diametrul piesei cilindrice de controlat D este mic față de raza bobinei:

$$H_0 = \frac{k\,nI}{D} \tag{68}$$

unde k 2 0,24, este o constantă. Rezultă că inducția în piesă va fi:

$$B = \frac{5\frac{l}{2r} \cdot \mu_0 \cdot knI}{D} \tag{69}$$

de unde impunând B =0,72T, se obține în cazul alimentării în curent continuu:

$$nI = \frac{32000}{L/D} \qquad (A.s) \tag{70}$$

iar pentru o inducție B = 1,08T, se obține:

$$nI = \frac{45000}{L/D} \qquad (A.s) \tag{71}$$

L - fiind lungimea piesei, D - diametrul acesteia.

Relațiile (70) şi (71) se modifică atunci când alimentarea se face în curent alternativ, astfel:

$$nI_{ef} = \frac{22000}{L/D} \qquad (A.s) \tag{72}$$

I_{ef} - reprezentând valoarea efectivă a c.a. sau valoarea medie a unui curent redresat monofazat în punte, respectiv:

$$nI_c = \frac{11000}{L/D} \qquad (A.s) \qquad (73)$$

Ic - reprezentând valoarea medie a c.a. redresat monofazat simplu. Relațiile (70)÷(73) dau valori excesive în cazul în care raportul L/D este mic și anume dacă L/D < 5. Pentru a micșora curentul în aceste situații se folosesc bare polare de prelungire a lungimii pieselor.

16.5.2.4. Magnetizare cu cablu flexibil înfășurat

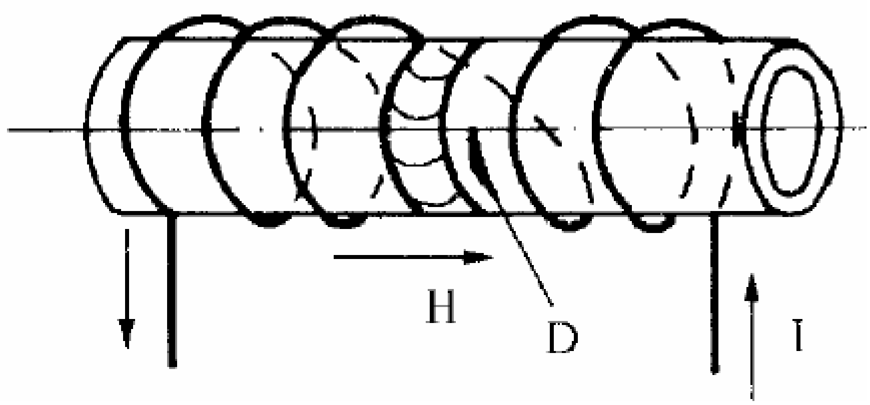


Fig. 19 Magnetizarea cu cablu infăşurat pe piesă

Această metodă folosește un cablu parcurs de c.c. sau c.a., care este înfășurat în jurul piesei (figura 19) și este foarte uzitată în cazul pieselor lungi sau de diametre mari, precum și în cazul unor piese de formă complexă. Fluxul magnetic și inductivitatea este influențată pe de o parte de material prin permeabilitatea relativă a acestuia și de distanta dintre două spire vecine.

Expresia componentei tangențiale a câmpului magnetic format intre doi conductori vecini, parcurşi de curentul I, este:

$$H_t = \frac{I}{\pi\left(s + \frac{t^2}{4s}\right)} \qquad (74)$$

unde s - reprezintă grosimea în mm, a piesei, respectiv a țevii bobinate cu cablul flexibil, iar t - distanta în mm dintre două ramuri vecine ale conductorului. H, fiind dirijat pe direcția generatoarei piesei, pune în evidentă cu predilecție discontinuitățile orientate în planul transversal al piesei. Introducând în expresia (74) valoarea minima a câmpului de magnetizare de 2400 A/m, se obține în conformitate și cu prevederile unor standarde, curentul de magnetizare necesar de tipul c.c. în (A):

$$I = 7{,}5\left(s + \frac{t^2}{4s}\right) \qquad (75)$$

Dacă alimentarea cablului se realizează în c.a., grosimea s se înlocuieşte cu adâncimea de pătrundere. Relația acoperitoare pentru calculul valorii de vârf a curentului de această dată este:

$$I = 7{,}5\left(10 + \frac{t^2}{40}\right) \qquad (76)$$

iar după standardul [44], relația folosită este de forma:

$$nI = \frac{35000}{L/D + 2} \qquad (A.s) \qquad (77)$$

n - fiind numărul de înfăşurări, L - lungimea zonei (piesei) înfăşurate, iar D - diametrul de înfăşurare.

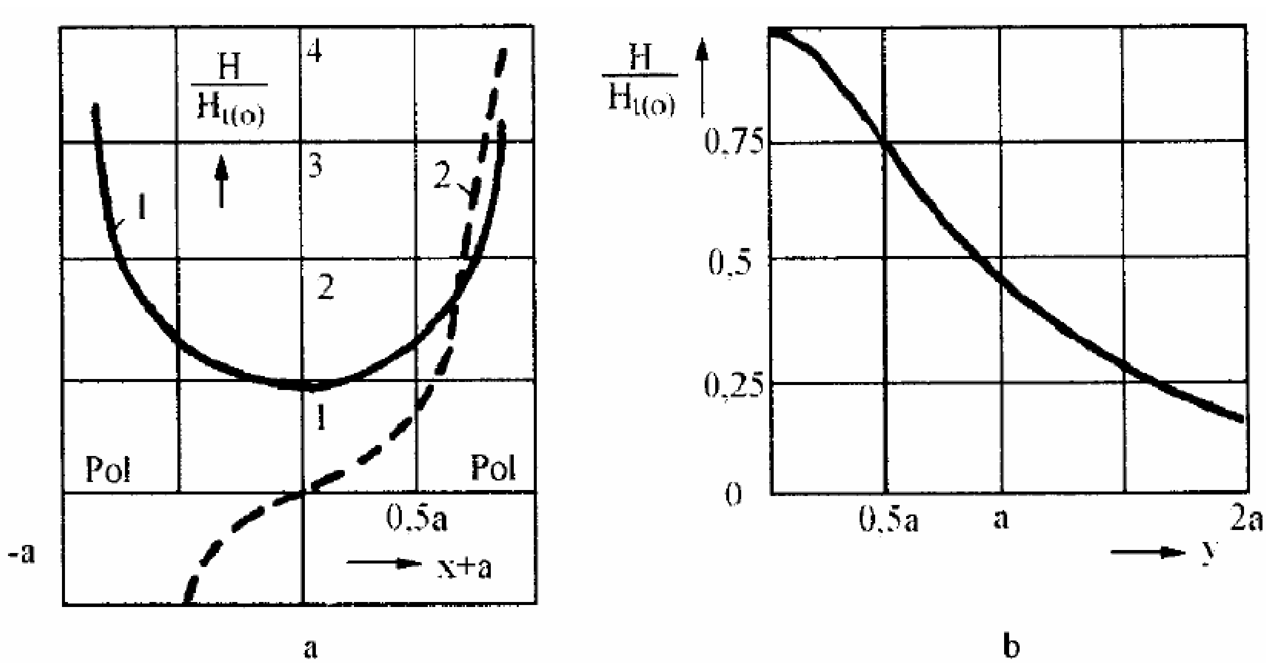


Fig. 20 Distribuția câmpului magnetic in zona polară: a - în direcție longitudinală: b - în direcție transversală

16.5.2.5. Distribuția câmpului magnetic într-o placă

Controlul pieselor sub formă de placă, utilizând magnetizarea polară intervine frecvent. Câmpul magnetic din placă produs la magnetizarea longitudinală comportă variații semnificative. Astfel pe direcția liniei polare, câmpul magnetic transversal de la suprafață H, variază exponențial având valoarea minimă H,. la mijlocul distantei dintre poli. Valori apropiate de H,ø se mențin simetric pe un interval de aproximativ jumătate din distanța polară. Spre capete unde se realizează contactul jugului

magnetic cu placa, intensitatea câmpului creşte simetric spre valoarea inducției din jug, aşa cum indică curba 1 din figura 20.
Componenta normală a câmpului B., indică o variație cu inflexiune la mijlocul distanței polare, unde Bn=0. Spre poli creşterile sunt foarte mari (curba 2 din figura 20).
În direcție transversală (y), câmpul magnetic scade, ajungând la o distanță de o semideschidere polară aproximativ jumătate din valoarea corespunzătoare lui y = 0.

16.5.2.6. Adâncimea de pătrundere a câmpului magnetic

Magnetizarea în curent alternativ cu frecventă ridicată oferă avantajul urmăririi riguroase a profilului piesei de controlat, datorită efectului pelicular intens. De aceea, la controlul pieselor cu profil mai complicat se va prefera alimentarea în curent alternativ.

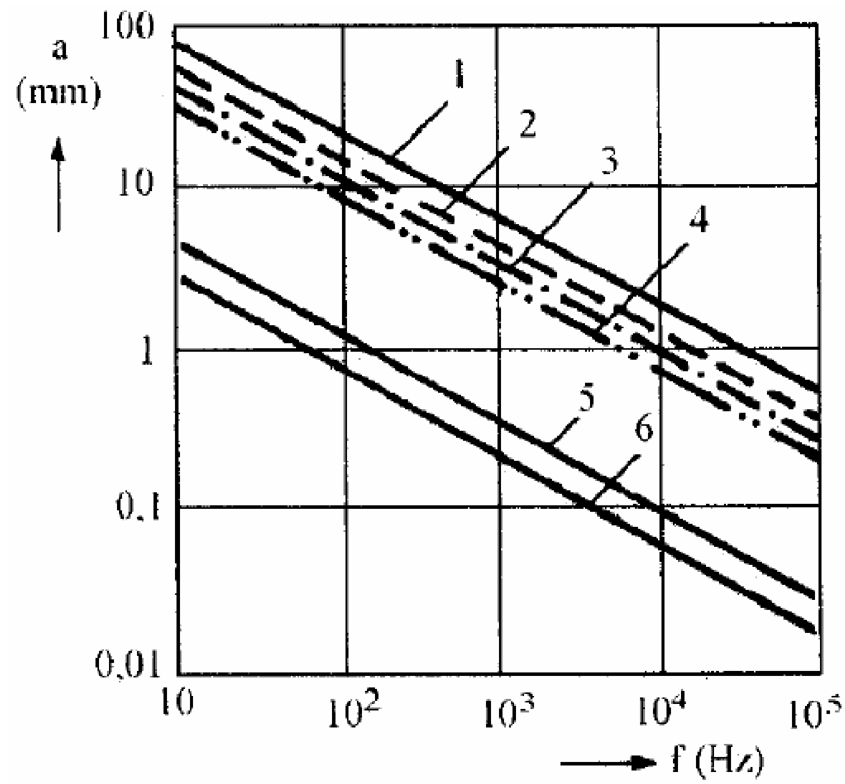


Fig. 21 Adâncimea de pătrundere a câmpului magnetic la diferite materiale: I - Fier (µ, = 2. A =2 m/D mm); 2 - Alamă (A = 12 m/D mm) ; 3 - A lamă (A = 35 m/D mm); 4 - Cupru (X = 15 m/Q mm3); 5 - Fier (p, = 200, L =2 mIR mm2); 6 - Fler (µr = 2000, L = 2 m/D mm);

Adâncimea de pătrundere a câmpului magnetic reprezintă o caracteristică importantă a metodei, în relație directa cu criteriile de alegere şi de comparație cu alte metode de control. Ea se calculează cu ajutorul relației (41) şi aşa cum rezultă, este hotărâtor influențată pe lângă caracteristicile electromagnetice - permeabilitate şi conductivitate - în special de frecvență. În afara parametrilor menționați, adâncimea de pătrundere depinde în mare măsură de forma piesei şi de rugozitatea suprafeței de contact.

Dependența de frecvență a adâncimii de pătrundere a câmpului magnetic reprezintă regresii liniare (figura 21) având parametri A = const., ceea ce corespunde unor materiale diferite şi µ, = const., ceea ce corespunde unor grade diferite de magnetizare.
Grosimea stratului pelicular străbătut de curent la oțeluri carbon este dată de relația:

$$a = 20 / \sqrt{f} \quad (78)$$

Aceasta explică tendința actuală de micşorare a frecvenței defectoscoapelor de la 50 Hz la 16.67 Hz. precum şi de orientare chiar spre frecvențe de 3 Hz.

16.5.2.7. Magnetizația remanentă

În general oțelurile cu un conținut de carbon C >0,2% pot fi controlate prin magnetizație proprie remanentă după o magnetizare prealabilă corespunzătoare.
Magnetizația remanentă foloseşte inducția reziduală dintr-o piesă magnetizata În prealabil într-un câmp magnetic continuu. Magnetizația în curent alternativ nu poate 11 folosită, deoarece alternativ cu magnetizarea se produce demagnetizarea piesei. În această situație pulberea magnetică se poate aplica independent de operația de magnetizare.
Condițiile în care magnetizația remanentă poate fi folosită direct pentru control țin de material şi de caracteristicile de magnetizare. Astfel se consideră suficient ca:
• inducția remanentă B, 2 0,72T, după unele surse B, 2 0,5T;
• bucla de histerezis să fie largă, extinsă aproape egal ca şi câmp magnetic şi ca şi inducție;
• câmpul coercitiv să fie He 2 1000 A/m.
Datorită urmărilor nocive provocate de magnetizația remanentă unor materiale, imediat după efectuarea controlului se impune demagnetizarea.

16.5.3. Magnetizarea circulară sau transversală

Magnetizarea circulară, transversală sau prin trecerea curentului, poate ti realizată, fie trecând curentul direct prin piesă, figura 22,a, prin intermediul unor electrozi de contact în cazul pieselor de secțiune plină, fie trecând un conductor străbătut de curent prin piesă, figura 22,b, respectiv prin înfăşurarea piesei cu un conductor în cazul pieselor tubulare.
Liniile de flux create în jurul conductorului, într-un plan perpendicular, înconjoară conductorul de excitație, magnetizarea obținută este circulară. Ea se pretează la detectarea cu predilecție a discontinuităților D orientate longitudinal în piesa de controlat PC.
Magnetizarea circulară poate 11 realizată cu rezultate superioare folosind alimentarea cu curent pulsat, tabelul 5, fie cu ajutorul condensatoarelor, sau cu transformatoare speciale. Avantajul alimentării cu impulsuri de curent constă în aceea că, datorită reducerii duratei de trecere a curentului, cantitatea de căldură degajată se micşorează, ceea ce permite ridicarea curentului de magnetizare şi prin aceasta obținerea unei adâncimi de pătrundere şi de detectare superioare. Această metodă se aplică cu bune rezultate la piese cu magnetism remanent ridicat.

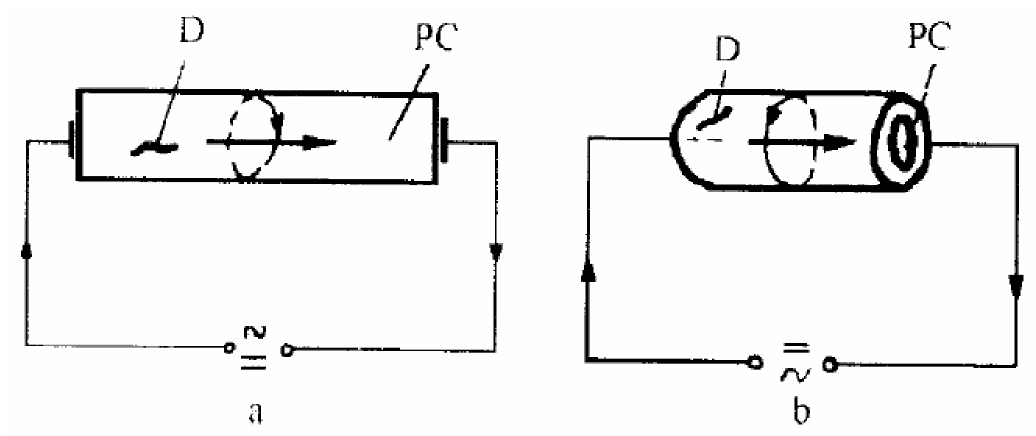


Fig. 22 Magnetizarea transversală: a - cu electrozi de contact; b - cu un conductor interior parcurs de curent

16.5.3.1. Magnetizarea cu electrozi de contact

Curentul este furnizat de la o sursă externă cum ar fi înfăşurarea de joasă tensiune a unui transformator. Câmpul magnetic circular este caracterizat prin inducția în material. Densitatea de curent variază punctual în funcție de caracteristicile de material, de forma piesei şi de poziția electrozilor de contact pe piesă.

Relațiile dintre curentul de magnetizare sau curentul totai din piesă şi inducția magnetică creată la suprafața piesei sunt în general simple.
În cazul unei bare cilindrice străbătute în lung de curentul I se induce un câmp magnetic

$$H = \frac{I}{\pi D} \qquad (79)$$

D - fiind diametrul barei (m). Cum $B = \mu_0 \mu_r H$, se obține

$$B = \frac{\mu_0 \mu_r I}{\pi D} \qquad (80)$$

Punând pe de o parte condiția ca inducția magnetică să fie cel puțin 0,72T şi luând în calcul μo -- 4x104 H/m şi μ, 2 240 pentru oțeluri, se ajunge la relația simplificată în care intensitatea necesară (A):

$$I = 7{,}5 \cdot 10^3\ D \qquad (81)$$

În cazul unei piese paralelipipedice intensitatea curentului de trecere exprimată în (A) este:

$$I = 2{,}4 \cdot 10^3\ p \qquad (82)$$

unde p este perimetrul secțiunii transversale (m).

Curentul necesar se poate determina mai exact cunoscând curba de primă magnetizare a materialului (vezi figurile 2 şi 3). În acest scop pe diagramă se intersectează orizontala B = 0,72T cu curba de primă magnetizare şi se obține valoarea câmpului H. Aplicând relația (79) se calculează curentul.
După [44] în cazul utilizării unor curenți redresați pentru evidențierea strictă a discontinuităților superficiale, relațiile recomandate pentru calculul curentului sunt:

$$
\begin{aligned}
I &= (28 \div 36)\,D && \text{în cazul } D \le 125 \text{ mm} \\
I &= (20 \div 28)\,D && \text{în cazul } 125 < D \le 375 \text{ mm} \\
I &= (4 \div 12)\,D && \text{în cazul } D > 375 \text{ mm}
\end{aligned}
\qquad (83)
$$

16.5.3.2. Magnetizare cu bară sau cablu parcurse de curent

Procedeul de magnetizare cu ajutorul unei bare parcurse de curent sau cu ajutorul unui cablu, introduse în interiorul piesei sau locului de examinare - orificiu, canal - etc. îşi găseşte aplicații la piese tubulare şi alezaje cilindrice. Se pretează la decelarea discontinuităților orientate în .lungul conductorului sau având o înclinație de cel mult ±45° față de direcția conductorului. Magnetizarea se realizează mai ales în c.c., permițând o repartizare mai uniformă a câmpului în piesă.

Tabelul 6

Diametrul conductorului (mm)	Grosimea piesei (mm)	Valoarea I(A) recomandată
12,5	3,125	500
	6,250	750
	9,375	1000
	12,500	1250
25,0	3,125	750
	6,250	1000
	9,375	1250
	12,500	1500
37,5	3,125	1000
	6,250	1250
	9,375	1500
	12,500	1750
50,0	3,125	1250
	6,250	1500
	9,375	1750
	12,500	2000

În jurul unui conductor liniar infinit de lung străbătut de curent, potrivit legii Biot - Savart - Laplace, intensitatea câmpului magnetic este

$$H = \frac{I}{2\pi R} \qquad (84)$$

unde R este distanța, în (m), de la conductor la suprafața piesei. Punând condiția de minimă magnetizație necesară H 2 2400 A/m, rezultă că intensitatea curentului de magnetizare (A)

$$I = 15\,R \quad (85)$$

Pentru a mări intensitatea câmpului magnetic se recurge la următoarele variante:

a. trecerea de mai multe ori a cablului în zona de examinare (figura 23,a);

b. apropierea cablului sau a barei de suprafață - plasare excentrică - respectiv aşezarea pe suprafaţa piesei (figura 23,b).

În varianta a, se obține un efect de bobină, curentul necesar este obținut prin raportarea lui I din relația (85) la numărul de înfăşurări n:

$$I_n = \frac{I}{n} \quad (86)$$

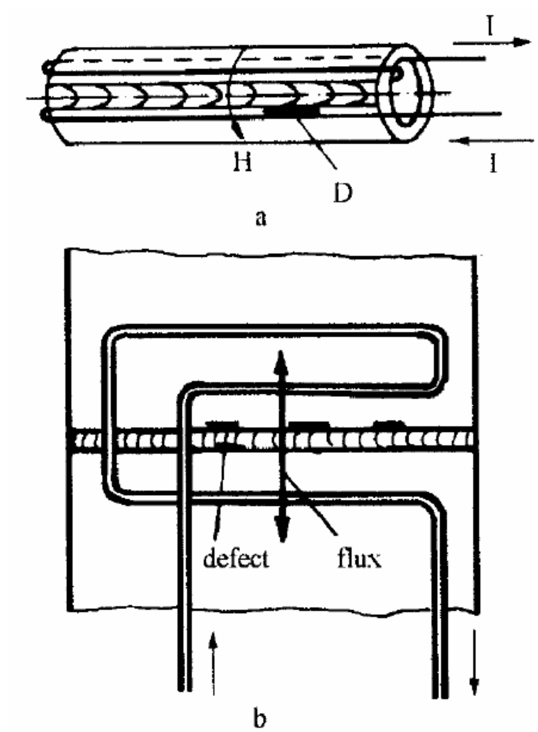


Fig. 23 Magnetizare cu cablu flexibil parcurs de curent:
a - înfăşurat pentru obținerea unei magnetizări circulare într-o piesă cilindrică în zona îmbinării sudate;
b - plasat pe suprafața unei piese pentru obținerea unei magnetizări transversale la îmbinarea sudată

După [44) curentul necesar este funcție de diametrul conductorului şi de grosimea piesei, respectiv a peretelui acesteia, conform datelor cuprinse în tabelul 6. Este important de ştiut că pentru direcționarea fluxului magnetic modul de aşezare a cablului şi sensul parcursului de curent joacă un rol esențial. După cum rezultă din figura 23, cablul se aşează astfel încât de o parte şi alta a zonei de examinare să se asigure acelaşi sens al curentului. În varianta b, dacă conductorul este lipit de piesă, componenta utilă a câmpului transversal este nulă, întrucât liniile de câmp sunt perpendiculare la suprafața piesei. Urmare a influentei materialului, în baza legii refracției liniile de câmp tind să se alinieze cu suprafața.
S-a stabilit că o intensitate de curent:

$$I = 30\ R \qquad (87)$$

este suficientă pentru a produce până la distantă de cea 2R sub conductor un câmp magnetic tangențial H, > 2400 A/m. Se precizează însă că acest câmp nu trebuie să fie perturbat de porțiunea de întoarcere a curentului prin cablu provenit prin modul de înfăşurare. În vederea evitării unui astfel de efect, distanta dintre ramuri sau la sursă trebuie să fie de cel puțin 20R.
Metoda prezintă inconvenientul unei încălziri uneori excesive a piesei examinate.

16.5.3.3. Magnetizare prin injecție de curent cu electrozi mobili

Tehnica magnetizării prin injecție de curent folosind electrozi mobili este o variantă a magnetizării transversale cu electrozi de contact. Curentul de magnetizare poate fi c.c., c.a. sau impulsuri redresate şi este introdus de la o sursă externă în zona de examinare prin intermediul a doi electrozi manuali (figura 24), aplicați de către operator. Se asigură astfel o versatilitate favorabilă unui control minuțios, deoarece linia ce uneşte electrozii poate li modificată favorizându-se detectarea discontinuităților direcționate aleator. De regulă, dată fiind forma circulară sau eliptică a zonei de control cuprinse între cei doi electrozi, este suficientă aplicarea câmpului în două direcții perpendiculare.
Curentul se cuplează numai după realizarea unui contact corespunzător pe suprafața piesei şi aplicarea unei presiuni manuale. Presiunea se menține pe toată durata examinării până la deconectarea sursei. În caz contrar se poate forma un arc electric, care produce de regulă arsuri locale pe suprafața piesei.
Metoda relevă discontinuități orientate perpendicular pe câmpul magnetic, discontinuități direcționate în lungul liniei electrozilor, respectiv oblice într-un interval de ±45° față de această direcție.
Distanța dintre electrozi se ia în medie de 250 mm, frecvent însă intervalul de distante este cuprins în limitele 100 ÷ 400 mm.

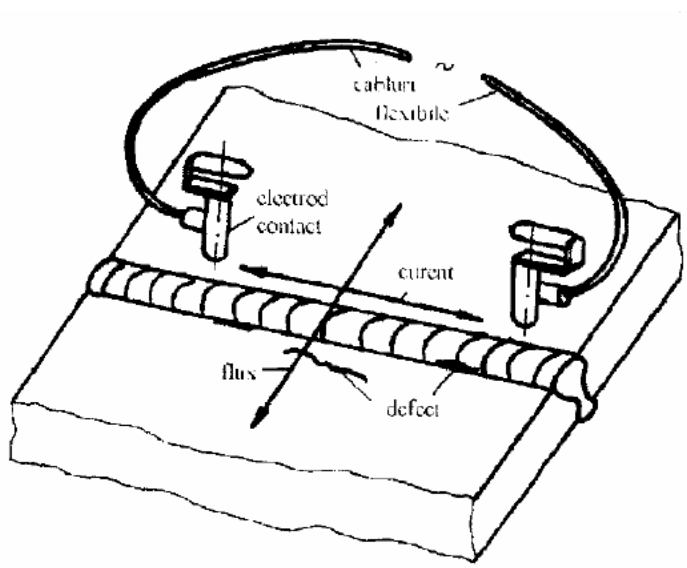


Fig.24 Magnetizarea prin injecție de curent cu electrozi de contact mobile

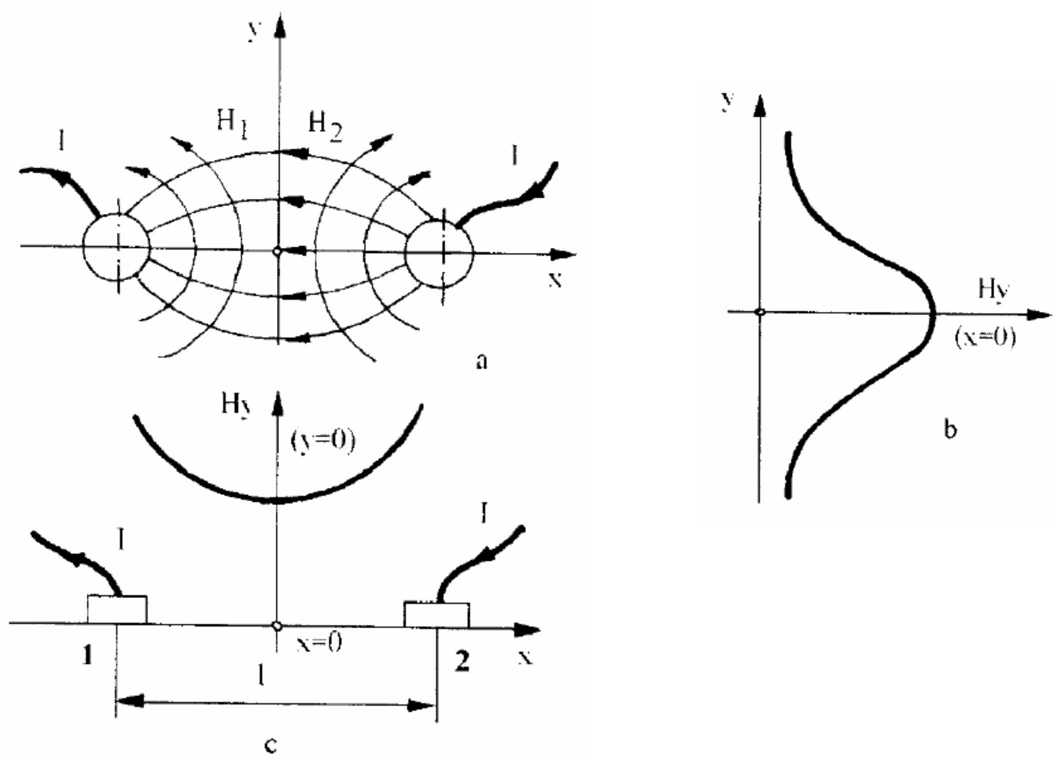


Fig. 25 Câmpul magnetic produs intre doi electrozi mobili prin injecție de curent

Câmpul magnetic într-un punct oarecare din pianul piesei este format din două componente. O componentă Hi produsă de conductorul ce realizează contactul în punctul I şi o componentă H2 produsă de conductorul care realizează contactul în punctul 2. În ipoteza că cele două puncte sunt străbătute perpendicular pe suprafața piesei de câte un conductor infinit lung, cele două componente proiectate pe direcția y din figura 25, vor fi:

$$H_{1y} = \frac{I}{2\pi r_1}\cos\theta_1$$
$$H_{2y} = \frac{I}{2\pi r_2}\cos\theta_2 \qquad (88)$$

unde r1 şi r2 reprezintă razele vectoare ale punctului considerat în care se calculează valoarea câmpului magnetic în raport cu cele două puncte de contact I şi 2, iar Oi şi 02 unghiurile formate de aceste raze vectoare cu direcția 1 - 2. Rezultă:

$$H_y = H_{1y} + H_{2y} = \frac{I}{2\pi}\left(\frac{\cos\theta_1}{r_1} + \frac{\cos\theta_2}{r_2}\right) \qquad (89)$$

Funcția (89)este reprezentată grafic în figura 25. În cazul în care punctul considerat se află pe cercul înscris între punctele 1 şi 2 situate la distanța 1, vom avea:

$$\frac{\cos\theta_1}{r_1} = \frac{\cos\theta_2}{r_2} = \frac{1}{l} \qquad (90)$$

Relația (89) devine astfel:

$$H_y = \frac{I}{\pi l} \qquad (91)$$

si cum Hy trebuie să fie cel puțin de 2400 A/m, rezultă:

$$I/l = 7500 \qquad (A/m) \qquad (92)$$

În ipoteza că forma suprafeței în care se manifestă câmpul magnetic nu este un cerc ci o elipsă cu axa mare egală cu 1, se obține:

$$I/l = 4700 \qquad (A/m) \qquad (93)$$

Având în vedere abundenta de informații în legătură cu magnetizarea prin injecție de curent folosind electrozi mobili, se prezintă în continuare şi alte recomandări cu privire la alegerea curentului de magnetizare. Astfel, pentru discontinuități deschise la suprafață 1 = 40 ÷ 55 A pentru fiecare cm distanță între electrozi, iar pentru discontinuități subsuperficiale se prescrie I = 60 ÷ 80 A pentru flecare cm distantă între electrozi la magnetizarea c.c., respectiv 50 ÷ 70 A pentru fiecare centimetru distantă între electrozi în cazul alimentării în curent redresat monofazat în punte. După standardul [44], I = 3,6 ÷ 4,4, A pentru flecare mm distantă între electrozi în cazul pieselor având grosimea sub 19 mm, respectiv I = 4,0 ÷ 5,0 A pentru fiecare mm distantă între electrozi în cazul pieselor având grosimea peste 19 mm.
Dacă curentul folosit este alternativ, I reprezintă valoarea efectivă.

16.5.3.4. Distribuția câmpului magnetic în piese

Câmpul magnetic obținut prin trecerea curentului variază în limite largi fiind influențat de felul materialului, forma piesei, intensitatea câmpului şi forma curentului de magnetizare. Ca o particularitate, se remarcă faptul că în toate situațiile în care se practică exclusiv injecția de curent, valoarea maximă se situează la suprafața exterioară a piesei.
În figura 26 se arată variația lui H în secțiunea unei piese cilindrice pline parcurse de c.c. la o piesă neferomagnetică (linie întreruptă), respectiv la o piesă feromagnetică (linie plină). Variațiile sunt liniare pe secțiune, cuprinse între valoarea 0 în axa piesei şi H', respectiv µH' la suprafață. În exteriorul piesei câmpul magnetic scade semnificativ odată cu mărirea distantei de la suprafața piesei. Spre deosebire, dacă se aplică c.a. datorită efectului pelicular variația lui H este de formă exponențială (curba 2 din figura 26).

Variația câmpului magnetic H în secțiunea unei țevi este pusă în evidentă în figura 27.

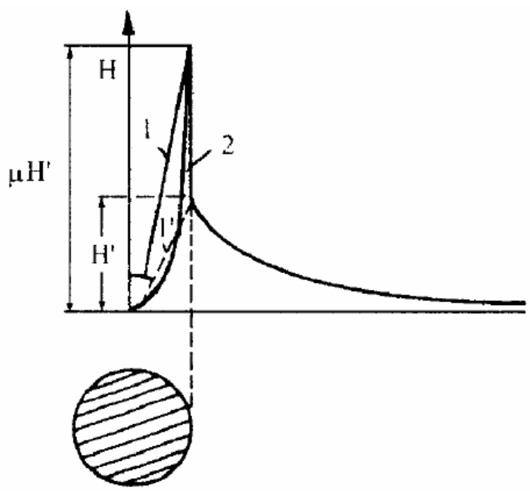
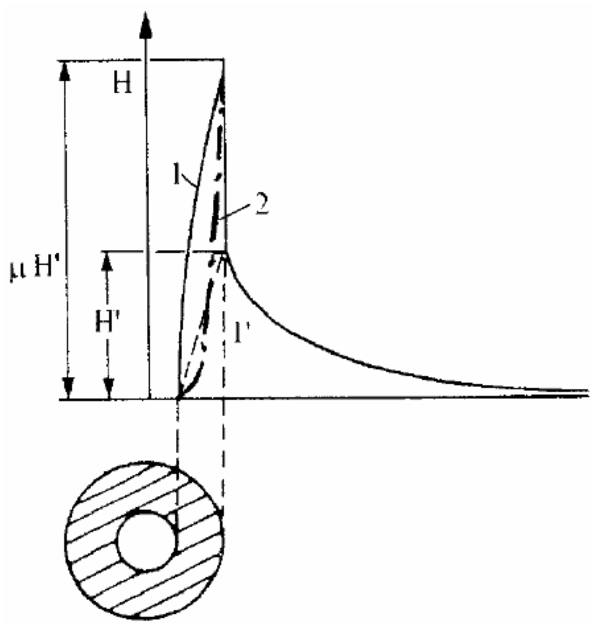


Fig. 26 Distribuția câmpului magnetic intr-o bară cilindrică plină parcursă de curent:
1 - c.c. şi material feromagnetic;
l' c.c. şi material neferomagnetict
2 - c.a. material feromagnetic

La suprafața interioară a țevii H - 0, iar la suprafața exterioară se obține H..,. Curbele I şi l' reprezintă variația H pe grosime la materiale feromagnetice, respectiv neferomagnetice parcurse de c.c., iar curba 2, variația H în cazul materialului feromagnetic parcurs de c.a.
În figura 28 se prezintă variația câmpului magnetic în cazul a două conductoare coaxiale, unul interior dintr-un material neferomagnetic şi unul exterior dintr-un material feromagnetic. În acest caz valoarea maxima a câmpului magnetic se localizează la suprafața interioară a țevii.
În cazul conductorilor cu secțiune dreptunghiulară, de lățime b şi lungime h, magnetizați prin trecerea curentului alternativ şi având raportul b/h > 0,5, intensitatea câmpului magnetic la suprafață poate fi calculată cu relația:

$$H = I/p \tag{94}$$

unde: I - intensitatea curentului, în A; p - este perimetrul secțiunii (m).
Intensitatea câmpului magnetic scade spre marginile conductorului, iar variația (distribuția) la suprafață este simetrica față de axa conductorului, dar cu diferențe funcție de felul curentului continuu sau alternativ.



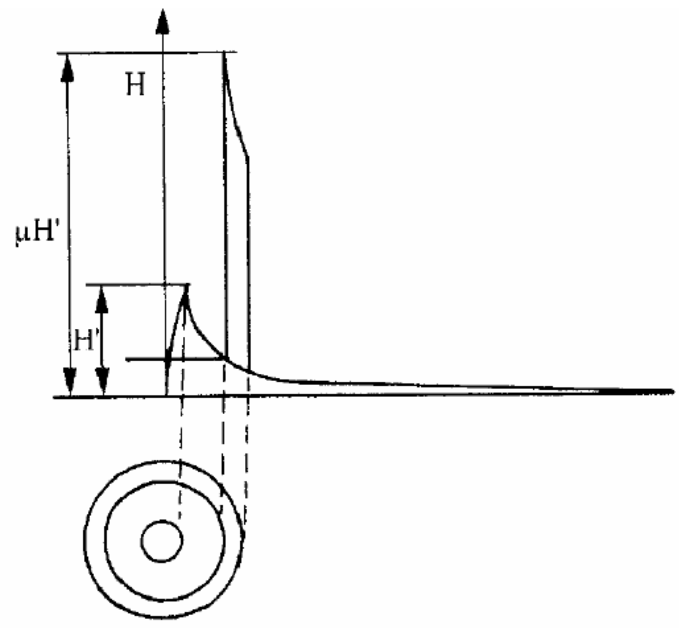


Fig. 27 Distribuția câmpului magnetic într-o teavă parcursă de curent: 1 - c.c. şi material feromagnetic;
l' c.c. şi material neferomagnetict
2 - c.a. material feromagnetic

Fig. 28 Distribuția câmpului magnetic în piese cilindrice coaxiale

16.5.4. Magnetizarea mixtă

Magnetizarea mixtă se foloseşte în general atunci când nu se cunoaşte modul de orientare a defectului, respectiv atunci când este posibilă o singură poziție de aşezare a piesei în raport cu instalația. Se realizează practic cu ajutorul defectoscoapelor fixe universale, care permit şi o reglare după necesități a curentului pe cele două direcții până la 3000 ÷ 5000 A pentru magnetizarea transversală şi 20.000 ÷ 50.000 As pentru magnetizarea longitudinală. Situații speciale de control la piese foarte mari au impus construirea unor defectoscoape fixe cu deschiderea de până la 6 m, la care magnetizarea longitudinală este produsă de o solenație de 400.000 As, [8].
Pentru a asigura variația orientării vectorului de câmp şi cuprinderea tuturor direcțiilor, componentele câmpului trebuie să fie reglabile si/sau cel puțin una din ele alternativă. Metoda clasică aplicată la defectoscoapele universale constă în suprapunerea magnetizării circulare (transversale) alternative cu magnetizarea polară (longitudinală) în curent continuu, figura 29.

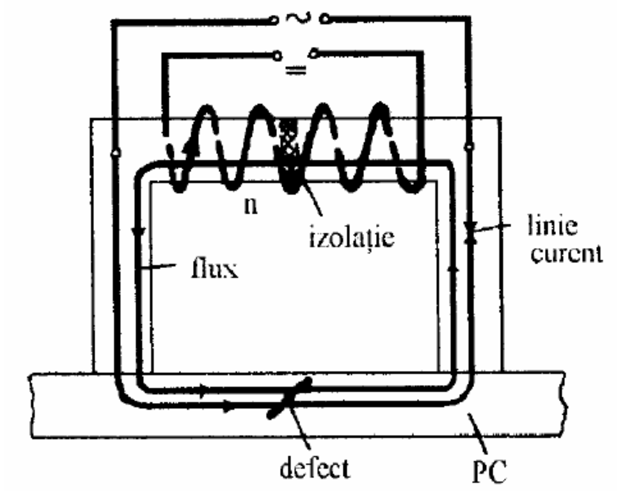


Fig. 29. Magnetizarea polară (longitudinală) în curent continuu

Prin suprapunerea celor două câmpuri, aşa cum rezultă din figura 30, vectorul câmpul rezultant îşi schimbă poziția cu frecvența câmpului sinusoidal al magnetizării circulare. Soluții avantajoase se pot obține prin combinarea magnetizării longitudinale şi circulare cu curenți alternativi defazați şi redresați, ceea ce are ca rezultat mărirea frecvenței câmpului rotitor rezultant şi prin aceasta ridicarea gradului de decelabilitate a discontinuităților. Unghiurile de defazare recomandate se situează între 50° şi 130°.

Un avantaj incontestabil al defectoscoapelor fixe constă în posibilitatea reglării câmpurilor magnetice şi astfel obținerea unui câmp de dispersie optim pentru decelarea discontinuităților, indiferent de formă şi permeabilitate.

Fluxul produs de bobina alimentată în c.c. şi care se închide prin jugul defectoscopului în concordantă cu notațiile din figura 29, este dat de relația:

$$\Phi_L = \frac{U_i \cdot R \cdot C}{n} \qquad (95)$$

unde: Ui - tensiunea de alimentare a bobinei;

R, C - constante; n - număr de spire pe bobină.

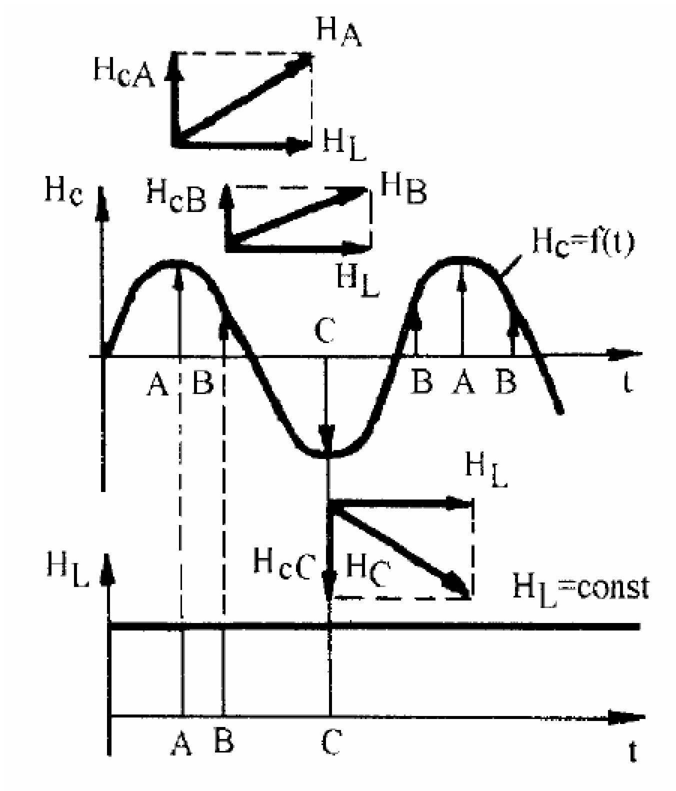


Fig. 30 Suprapunerea cămpului longitudinal constant H L cu câmpul circular variabil Hc

Fluxul produs de curentul alternativ se determină din relația:

$$\Phi_C = \frac{U_2}{2\pi \cdot f \cdot n_2} \qquad (96)$$

unde: U2 - tensiunea secundară a transformatorului de alimentare; f = 50 Hz - frecventa tensiunii retelei; n2-numărul de spire din secundarul transformatorului.

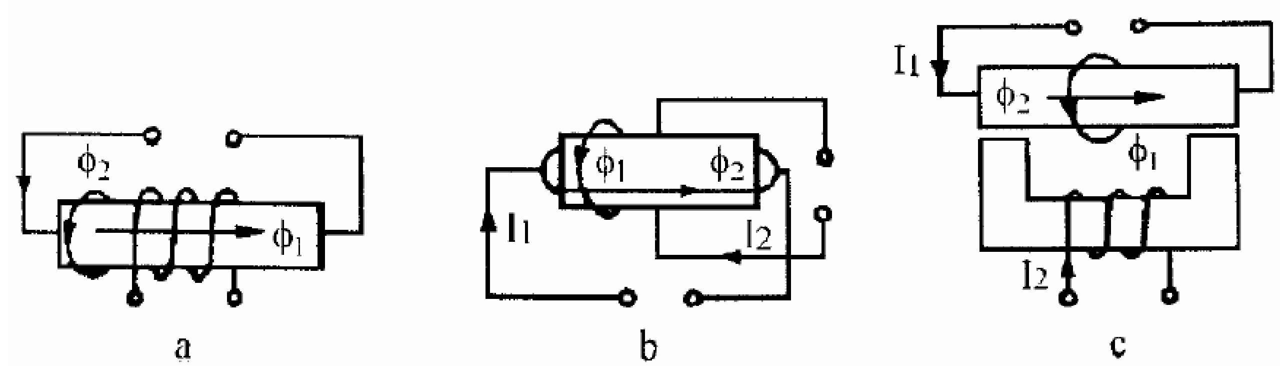


Fig. 3 i Alte scheme de magnetizare mixtă: a - combinatie solenoid. trecere de curent; b -electro:i de contact pe doaă direcții; e - combinafie electromagnet, injectie de current

Alte scheme de magnetizare mixtă rezultă din figura 31. După figura 31,a, câmpul longitudinal produs de un solenoid Q, este combinat cu cel circular produs prin trecerea curentului prin piesă Q2. În figura 31,b, combinarea fluxurilor O, şi ¢2 se realizează cu electrozi de contact şi injecţie de curent pe două direcţii perpendiculare. În figura 31,c, combinarea fluxurilor magnetice se realizează suprapunând unei magnetizări polare cu electromagnet, injecţia de curent cu electrozi de contact.

17. DEMAGNETIZAREA

După încheierea controlului este obligatorie demagnetizarea piesei întrucât magnetizaţia remanentă provoacă perturbaţii, atât în prelucrarea ulterioară a pieselor, cât si, mai ales, în exploatarea lor (perturbarea funcţionării aparatelor electromagnetice, creşterea susceptibilităţii la coroziune, mărirea vitezei de uzare etc.). Pe de altă parte, la magnetizarea polară, piesele se ridică greu de pe polii instalaţiei datorită forţelor care iau naştere în cursul magnetizării. Experienţa a arătat că, în general, arcul electric la sudare nu este influenţat de magnetizarea remanentă până la cea. 50 A/cm. În cazul prelucrărilor prin aşchiere, magnetizarea remanentă trebuie coborâtă însă sub 10A/cm.

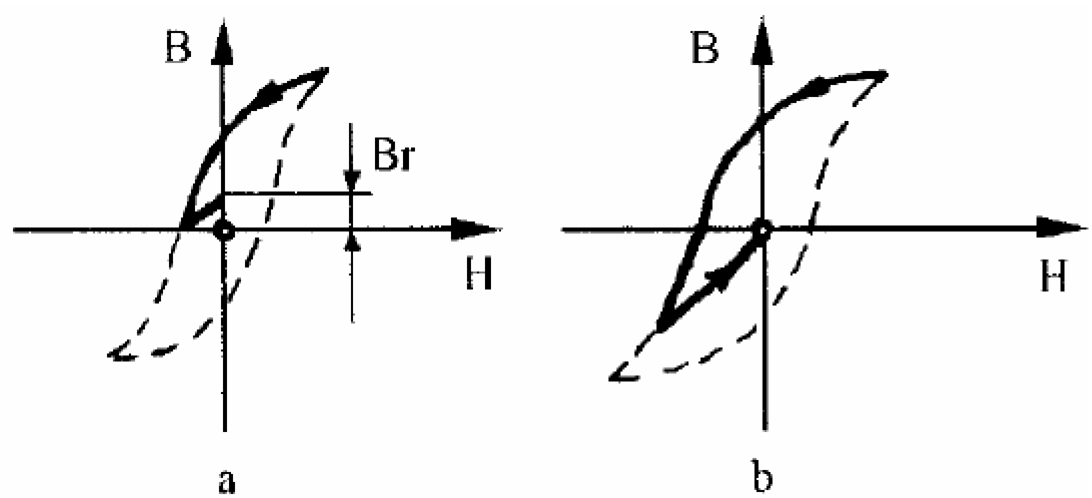


Fig. 32 Demagnetizare prin inversarea câmpului magnetic: a - cu inducţie remanentă; b – fără inducţie remanentă

Cele mai dăunătoare sunt câmpurile remanente longitudinale.
Prezenţa lor poate ti măsurată cu ajutorul magnetometrului, respective apreciată prin atragerea – devierea unui lanţ format din agrafe. Câmpurile magnetice circulare sunt limitate în piesă, în exterior nemanifestându-se şi ca urmare sunt mai puţin nocive.
Direcţia câmpului demagnetizant este independentă de direcţia magnetizaţiei remanente, important fiind faptul utilizării unui câmp de demagnetizare iniţial egal sau mai mare decât cel folosit la magnetizare.
Valoarea magnetizaţiei remanente admisă după demagnetizare trebuie corelată cu valoarea componentei orizontale a câmpului magnetic terestru, care este de 16 A/m.
Demagnetizarea se realizează de regulă pe instalaţiile cu care s-a produs magnetizarea, putându-se folosi în principal trei metode:

a. O primă metodă se pretează la demagnetizarea pieselor magnetizate longitudinal În curent continuu. Ea constă în magnetizarea cu un câmp contrar până la anularea inducției din piesă. Ciclul de demagnetizare este prezentat în figura 32,a.

Dezavantajul metodei este că după eliminarea câmpului aplicat la demagnetizare şi după ridicarea din instalație, piesa se remagnetizează potrivit ramurii crescătoare de pe curba de histerezis. O soluție superioară constă în magnetizarea cu un câmp contrar mai puternic, astfel încât după întreruperea alimentării inducția să ajungă la zero, aşa cum este prezentat în figura 32,b.

b. Altă metodă învederează demagnetizarea într-un câmp alternativ descrescător, prin micşorarea curentului până la anularea buclei de histerezis, conform figurii 33.

Aceasta este o metodă care se poate aplica numai în bobine de demagnetizare speciale deschise, care complica din punct de vedere constructiv instalația. Totodată, metoda este limitată la piese de grosimi (diametre) miei şi mijlocii.

c. A treia metodă, mai importantă. constă în inversarea succesivă a polarității în curent continuu şi micşorarea acestuia până la zero. În cazul pieselor mai mari sau de grosimi relativ mari, se va lucra cu frecvență micşorată. Se va folosi în acest scop un convertizor de frecventă şi un dispozitiv de schimbare a polarității prin comutarea succesivă a alimentării bobinei de magnetizare, concomitent cu introducerea unor rezistente suplimentare în circuit.

În linii mari 10 inversări şi reduceri ale curentului dau rezultate satisfăcătoare.

Demagnetizarea locală se poate efectua pe două căi:

• cu ajutorul jugului magnetic portabil alimentat în c.a., aşezând polii în contact cu suprafața piesei, apoi retrăgându-I sub tensiune în mod treptat; întreruperea curentului se face numai după ieşirea completă a jugului din zona de influentă a piesei;

• utilizarea cablurilor parcurse de c.c. aşezate pe suprafața piesei şi aplicarea, fie a unui câmp magnetic egal şi contrar celui de magnetizare, fie a unei reduceri treptate a curentului până la zero, concomitent cu inversarea sensului.

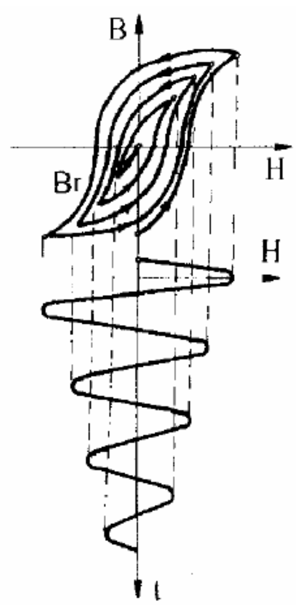


Fig. 33 Demagnetizare în c.a. descrescător

18. MAGNETOGRAFIEREA

Metoda magnetografică este o metodă de mare productivitate. pretabilă la automatizarea controlului pieselor în flux tehnologic, în special în cazul țevilor sudate.
Câmpul magnetic de dispersie de pe suprafața examinată se imprimă pe o bandă magnetică, explorată apoi de o sondă de potențial oscilantă de proximitate, care converteşte câmpul de dispersie în semnale electrice vizualizate printr-un sistem adecvat dând posibilitatea unei evaluări cantitative. Față de defectoscopia cu pulberi, magnetografia prezintă trei mari avantaje:

- productivitate net superioară;
- posibilități largi de automatizare;
- adâncime de detectare mai mare (aproximativ dublă).

Comparativ cu defectoscopia cu sonde de potențial, prezintă avantajul unei insensibilități față de variații limitate ale permeabilității şi ale formei suprafeței examinate. Cercetări sistematice au pus în evidentă corespondenta liniară dintre adâncimea discontinuității şi amplitudinea semnalului înregistrat pe osciloscop, indiferent de poziția acesteia, ceea ce conferă metodei valente superioare în evaluarea şi interpretarea cantitativă a defectelor.
Magnetizarea pieselor se realizează fie polar, în care caz câmpul este dirijat perpendicular pe cusătură dacă se controlează o îmbinare sudată, fie transversal, cu ajutorul unei bobine, sau prin trecerea curentului, în care caz câmpul este dirijat pe direcția secțiunii longitudinale a îmbinării (normal la suprafața piesei). Se foloseşte magnetizarea în curent continuu sau în curent pulsat, deoarece câmpurile alternative anulează imprimarea.

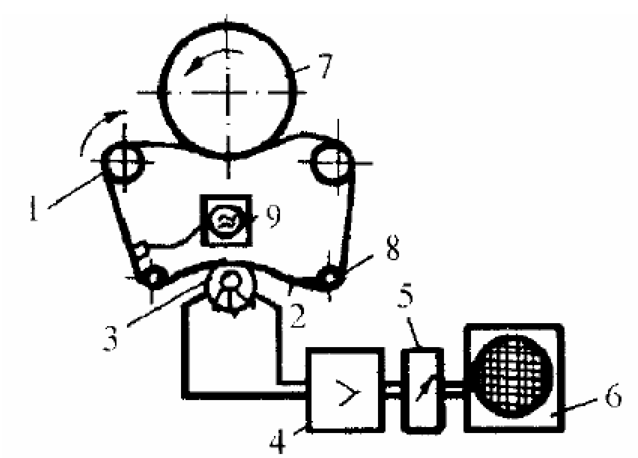


Fig. 34 Schema de funcționare a instalației de magnetografiere

Schema bloc a unui aparat de magnetografiere este prezentată în figura 34. Ea conține sistemul de antrenare (1) a benzii magnetice (2), sonda oscilantă de apropiere (3), sincronizată cu viteza de deplasare a benzii, amplificatorul (4), filtrul (5) şi oscilograful (6). Pentru menținerea unui contact permanent între banda (2) şi piesa controlată (7), instalația dispune de un dispozitiv de întindere cu role

(8), iar pentru ştergerea benzii de un generator sau bobină de soc prevăzută cu cap de demagnetizare (9). Banda magnetică trebuie să fie elastică în vederea unei intime rulări pe suprafaţa testată, rezistentă la uzură şi la variaţii de temperatură, iar particulele magnetice trebuie să fie dispuse omogen pe suprafaţă şi să asigure reproducerea liniară a câmpului de dispersie.
Pentru reţinerea câmpului de dispersie de pe bandă, sonda efectuează o mişcare de oscilaţie (translaţie) sau o mişcare de rotaţie combinată sincron cu o mişcare de translaţie, de baleiere a lăţimii benzii, astfel încât citirea să se realizeze printr-o mişcare în zig-zag. Semnalele captate de sondă şi amplificate corespunzător, sunt trecute unui filtru de frecvenţă, eventual acordat pe tipuri şi mărimi de discontinuităţi şi transmise sistemului de redare. Pentru redare se întrebuinţează un oscilograf sau un înregistrator multicanal. La osciloscop devierea spotului luminos pe verticală este proporţională cu tensiunea transmisă de sondă, iar lăţimea ecranului proporţională cu lăţimea benzii. Înregistratorul multicanal transpune grafic variaţiile câmpului magnetic de pe bandă, sincron cu mişcările sondei de contact, obţinându-se în cazul unui număr suficient de canale o imagine plastică a zonei examinate cu posibilităţi de decelare operativă a poziţiei şi mărimii discontinuităţii. Pentru localizarea exactă azimutul poziţiei de pornire a controlului trebuie să fie marcat pe bandă.

Instalaţiile pentru controlul semiautomat al ţevilor sudate sunt prevăzute şi cu dispozitive de marcare cu vopsea a zonelor cu defecte neadmise. Pentru facilitarea unui contact intim cu suprafaţa îmbinării sudate, banda magnetică se fixează pe un suport din cauciuc ce îi conferă rezistenţa mecanică necesară şi face să se evite formarea cutelor, de unde se pot retine semnale false.
Experimentări efectuate de [37] au evidenţiat o sensibilitate diferenţiată a metodei faţă de discontinuităţi în funcţie de valoarea permeabilităţii. Astfel, pentru valori mici ale permeabilităţii (p = 2 ÷ 10), fluxul de dispersie nu variază semnificativ cu lăţimea discontinuităţii. La valori ridicate ale permeabilităţii (μ - 20 ÷ 500), dimpotrivă. fluxul de dispersie dintr-o discontinuitate lată este foarte mic în comparaţie cu cel provenit de la o discontinuitate foarte îngustă. De aceea, câmpul de magnetizare trebuie ales în aşa fel încât permeabilitatea să nu scadă sub 20. De aici decurge şi necesitatea de corelare a granulaţiei benzii magnetice cu limitele sensibilităţii de detectare.

19. CORPURI DE REGLARE A CÂMPULUI MAGNETIC

În paragrafele precedente s-a pus în evidentă faptul că alegerea curentului de magnetizare în vederea obţinerii efectelor scontate în cursul examinării piesei cu pulberi magnetice reprezintă o problemă cu multe variabile şi incertitudini. De aceea, dincolo de tehnicile de măsurare, s-a recurs la mijloace simple dar eficiente, care să permită reglarea intensităţii câmpului, respectiv corectarea acesteia direct pe suprafaţa piesei.
Unul din mijloacele menţionate se referă la corpul de reglare prezentat în figura 35, după [44].

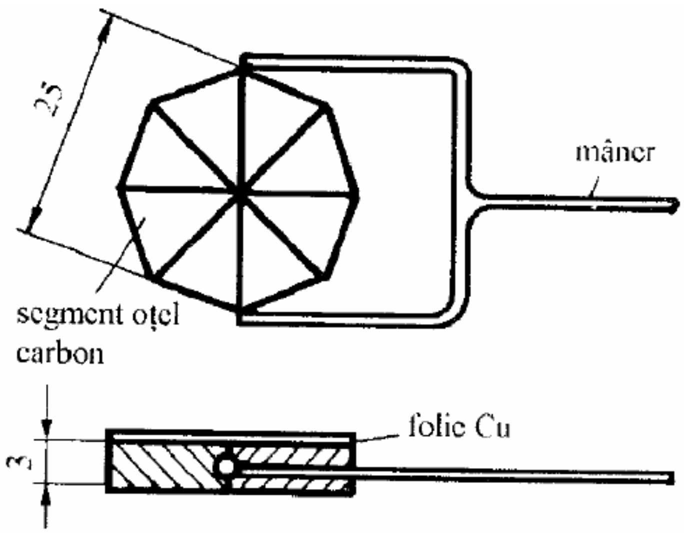


Fig. 35 Corp de reglare a câmpului magnetic de tip AS7M

El este format din 8 segmente de oțel moale având compoziția chimică pe cât posibil apropiată de a piesei controlate, izolate între ele cu metal neferos şi acoperite cu folie de cupru de 0,25 mm grosime. Izolația dintre segmente joacă rolul discontinuităților din material (fisuri, nepătrunderi). Corpul se aplică pe piesă în diferite poziții, reglându-se intensitatea curentului până la formarea unui câmp de dispersie cu contrast corespunzător pe suprafața foliei de cupru în dreptul uneia dintre discontinuități. Astfel, corpul de reglare poate fi folosit şi pentru stabilirea orientării câmpului magnetic. În acest scop, prin rotirea corpului, se urmăreşte interstițiul pe care se formează câmpul de dispersie cel mai intens; liniile de câmp sunt orientate perpendicular pe interstițiul respectiv.

O construcție îmbunătățită este prezentată, după Berthold [2], în figura 36.

Corpul de reglare este format dintr-o piesă cilindrică din oțel moale (1), sectorizata prin două canale diametrale perpendiculare şi o piuliță (2), prevăzuta cu folie subțire de cupru (3), care poate fi apropiată sau îndepărtată de piesa cilindrică prin rotire.

Condițiile de magnetizare (intensitatea curentului, granulația şi concentrația suspensiei), se reglează astfel încât să se obțină indicații cât mai bune de la distante maxime între folia piuliței şi piesa cilindrică prin care se închide fluxul magnetic.

În vederea obținerii unei concludente ridicate a controlului, se impune ca direcția liniilor de câmp să fie perpendiculară pe direcția discontinuității. În cazul în care nu se cunoaşte apriori direcția discontinuității, piesa se magnetizează în cel puțin două direcții perpendiculare.

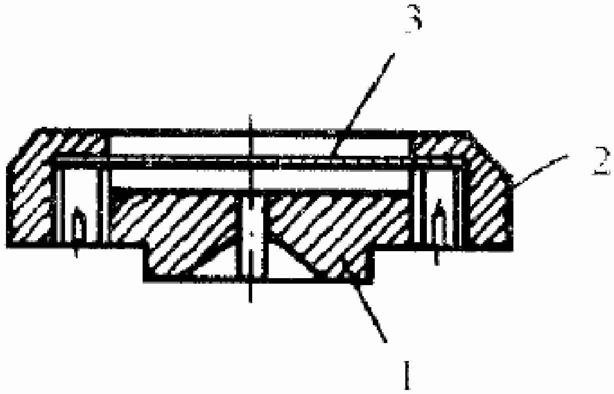


Fig. 36 Corp de reglare a câmpului magnetic de Up Berthold

20. EXAMINA RE A CÂMPULUI MAGNETIC DE DISPE RSIE

20.1 Pregătirea suprafeței

Mobilitatea particulelor magnetice la suprafața piesei este influențată de o serie de factori printre care rugozitatea suprafeței, stratul de oxid. pelicule de grăsimi şi apă. Sursele de contaminare pot provoca indicații false îngreunând interpretarea rezultatului controlului. Înainte de parcurgerea operațiilor de control toate sursele de contaminare vor ti îndepărtate prin prelucrare, respectiv îndepărtare mecanică, urmată de spălarea cu detergent. Straturile de protecție electrochimică sau de vopsea nu influențează practic sensibilitatea de examinare.

Intre rugozitate pe de o parte, capacitatea de detectare şi reproductibilitatea examinării există o relație de dependentă directă. Sensibilitatea cea mai bună de detecție o reprezintă suprafețele plane lustruite, putând ajunge la dimensiuni microscopice. În condiții obişnuite rugozitatea necesară şi suficientă pentru un control de rutină este R3 < 16 µm, ceea ce corespunde unei suprafețe finisate. Aceasta este suficientă pentru relevarea unor indicații de discontinuitate de aproximativ l mm.

În vederea măririi contrastului, înainte de aplicarea pulberii se practică frecvent vopsirea suprafeței de controlat cu vopsea albă de nitrolac, diluată în proporție de 3 : 1, ceea ce asigură o uscare rapidă.

20.2. Condiții de examinare

Examinarea pieselor se realizează În lumină albă difuză, care asigură o iluminare (<D/S, Cd/m2), de minim 500 lx± În cazul folosirii pulberilor fluorescente se utilizează lumina ultravioletă în spatii slab iluminate, sub 50 lx.

Radiațiile ultraviolete se. obțin cu ajutorul unei lămpi cu vapori de mercur.

Densitatea luminoasă este proporțională cu intensitatea radiației măsurată în W/m Intensitatea minimă de iluminare trebuie să fie 2 5 W/m2, iar dacă lampa este prevăzută cu lupă, ea trebuie să depăşească

50 W/m Spectrul filtrat emis de lămpi u.v. este cuprins între 310 - 420 nm. Pigmentul fluorescent este excitat la o lungime de undă de 365 nm şi emite o culoare verde gălbuie în domeniul 520 - 580 nm.
Eliminarea factorilor subiectivi umani la examinarea suprafeței controlate şi la interpretarea discontinuităților impune respectarea următoarelor reguli referitoare la condițiile de control şi de observare vizuală:

- timpul de adaptare la controlul cu pulberi fluorescente în încăperi întunecate trebuie să fie de cel puțin 10 minute:
- distanta de examinare se recomandă să fie de 0,4 ÷0,5 m;
- cel puțin un ochi trebuie să asigure o vedere normală în câmp apropiat apreciată la valoarea 1,0 cu ajutorul ortotipului şi o valoare de minimum 0,8 în câmp mijlociu (0,4 ÷ 5 m) şi îndepărtat;
- anomaliile de distingere a culorii determinate la anomaloscop trebuie să se încadreze în limitele 1,4 2 Ac 2 0,7;
- capacitatea de adaptare la întuneric, capacitatea de menținere a acuității vizuale fără oboseală prematură, precum şi sensibilitatea la strălucire trebuie să se situeze la nivele normale.

20.3. Evaluarea indicațiilor de discontinuitate

Indicațiile de fisuri deschise la suprafață prezintă un contrast ridicat cu contur continuu, neregulat, eventual chiar ramificat. Fisurile şi nepătrunderile interne apar difuze cu indicații mai largi şi intermitente. Suflurile şi chiar incluziunile nemetalice plasate mai la suprafață se relevă prin indicații scurte, discontinue, uneori grupate şi orientate în sensul fibrajului de laminare sau forjare.
Fisurile produse prin tratament termic conduc la indicații liniare puternic conturate, localizate de regulă în dreptul muchiilor şi trecerilor de secțiune. Caracteristic pentru ele este şi configurația ramificată.
Fisurile induse prin operații de rectificare-polizare apar sub formă grupată şi segmentată, sau sub formă de rețele interconectate.
Fisurile de oboseală apar sub forma unor linii bine conturate în general drepte.
Cele de oboseală termică sunt scurte şi mai fine, datorită adâncimilor mai mici.
Fisurile produse sub acțiunea mediului coroziv sunt mai largi şi legate de zone cu pete de coroziune. Fisurile produse în urma fenomenului de coroziune fisurantă sub tensiune se caracterizează prin ramificații intense.
În cazul fisurării sub cordon tipice îmbinărilor sudate, indicațiile sunt late, difuze şi dificil de interpretat.

Golurile furnizează indicații liniare orientate după direcția de laminare sau de extrudare. Retasurile aflate în apropierea suprafeței furnizează indicații difuze.
Incluziunile nemetalice având o permeabilitate magnetică diferită sunt evidențiate sub formă de indicații liniare alungite şi aliniate pe direcții de prelucrare.
Suprapunerea furnizează indicații bine conturate, care se confundă cu cele obținute de la fisuri.
Defectele subsuperficiale conduc la indicații late şi difuze, caracteristicile acestor indicații fiind în legătura cu tipul discontinuității şi cu adâncimea.
Indicațiile false de defect au următoarele surse principale de producere:

• magnetizarea excesivă, ceea ce conduce la formarea artificială a depozitelor de pulbere magnetică; fenomenul se produce în special în dreptul modificărilor de secțiune, zone de altfel susceptibile de fisurare în urma tratamentelor termice;
• modificări structurale semnificative, mai ales cele de călire, plasate într-o zonă strict limitată caracteristică zonei influențată termic a unei îmbinări sudate;
• prezența unor zone de segregații în care şirurile - benzile prezintă o permeabilitate redusă;
• ecruisările superficiale, datorită modificărilor structurale cu diferențieri în permeabilitate;
• crestăturile marginale, craterele, precum şi solzii cordoanelor de sudura care rețin în general particulele magnetice ca şi fisurile superficiale sau defectele subsuperficiale;
• zona limitrofă îmbinării sudate sau placării cu oțeluri austenitice formează un câmp de dispersie ca urmare a gradienților de permeabilitate magnetică.

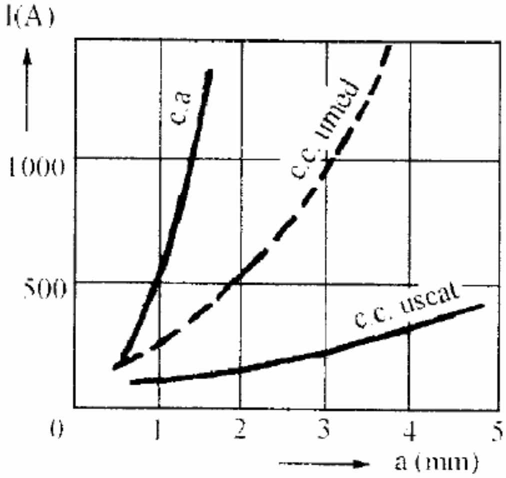
20.4. Conservarea imaginii

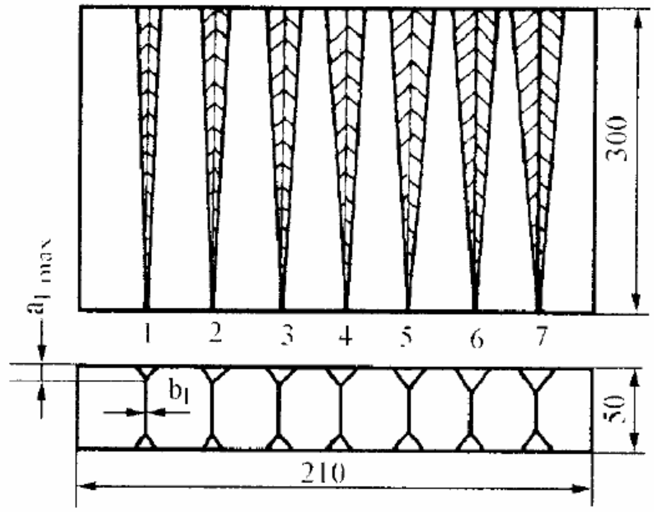
Locurile defecte se notează, fixează şi/sau fotografiază pentru a putea servi ca document de control. Defectograme cu vizibilitate bună se obțin cu ajutorul amprentelor imprimate pe hârtie de celofan umectată. Fixarea pe piesă a pulberii magnetice se realizează cu şelac pulverizat fin peste zonele care conțin indicații de discontinuități.
O altă metodă constă în folosirea unei folii transparente adezive, care se aplică pe suprafața controlată şi se presează uniform. Depozitele de pulberi magnetice aderă la folie. După desprindere, folia se aplică pe o foaie de hârtie poroasă pe care se imprimă câmpul de dispersie format la suprafața piesei.
În ultimii ani se dezvoltă intens metoda replicilor active din cauciuc siliconic magnetic autopolimerizant. Folosirea ei aduce un dublu avantaj, acela de producere în timp real a câmpului de dispersie şi acela de conservare a imaginii defectogramei.
Cauciucul siliconic se aplică într-o peliculă lichidă. Sub actiunea câmpului magnetic, care trebuie menținut în timpul luării replicii, particulele magnetice proprii migrează spre discontinuități. Prin polimerizare "imaginea" este incluzionată în pelicula de cauciuc solid conservându-se.

Una din metodele moderne de conservare a imaginii este metoda de înregistrare video .Si de prelucrare automată a imaginii cu ajutorul computerului.

21. ADÂNCIMEA DE DETECTARE şi SENSIBILITATEA EXAMINĂRII

Adâncimea de detectare la controlul cu pulberi magnetice este influențată de următorii factori:
• procedeul de magnetizare şi mai ales felul curentului de magnetizare, curent continuu, curent pulsat sau curent alternant şi intensitatea câmpului:
• frecvența curentului;
• procedeul de aplicare a pulberii magnetice, uscat sau umed;
• tipul defectului.





Aşa cum s-a arătat, adâncimea de pătrundere a câmpului este maximă în cazul magnetizării În curent continuu (c.c.) sau în curent pulsat monofazat. Acest lucru este pus în evidentă prin diagrama din figura 37, reprezentând variația adâncimii de penetrare a la detectarea discontinuităților volumice cu curentul de magnetizare L Se observă că pentru a asigura aceeaşi adâncime de penetrare. intensitatea de magnetizare în curent alternativ, trebuie să fie cu aproape un ordin de mărime superior curentului necesar magnetizării în curent continuu. Se pune în evidentă. pe de altă parte că în cazul magnetizării în curent alternativ, capacitatea maximă de detectare în profunzime este limitată la nivele ale intensității curentului de cea. 1000 ÷ 1500 A. Ín cazul magnetizării în curent continuu. un rol deosebit il joacă procedeul de aplicare a pulberii. După cum rezultă din figura 37 sensibilitatea maximă la variația intensității curentului de magnetizare o prezintă procedeul uscat. Rezultate superioare din punct de vedere al decelabilității se obțin prin folosirea pulberilor fluorescente, în concentrație de 1 g/l, în special al celor uscate fluorescente, în concentrație de 10 g/l.
Sensibilitatea de detectare se determină cu ajutorul unei piese de forma celei prezentate în figura 38, formata din 8 plăci de oțel carbon nealiat, având rosturile prelucrate înclinat de la un capăt la altul de la adâncimea a = 0 de o parte până la adâncimea a.= de cealaltă parte. Rosturile astfel formate au fost sudate, asigurându-se cu distanțiere interstiții de lățime b constantă pe toată lungimea probei, dar diferite de la rost la rost bi ... b7. Supraînălțarea cusăturilor a fost îndepărtată ulterior prin aşchiere, astfel încât pe corpul de probă s-au format 7 rânduri de nepătrunderi de diferite lățimi b şi de adâncime a variabilă, tabelul 7. Prin magnetizarea corpului se determină adâncimea de detectare a nepătrunderii în funcție de deschiderea (lățimea) interstițiilor.

Tabelul 7

Dimensiunea (mm)	Rândul						
	1	2	3	4	5	6	7
Lățimea (deschiderea) rostului **b**	0	0,13	0,25	0,50	1,0	2,0	4,0
Adâncimea maximă $\mathbf{a}_{\mathbf{max}}$	4,4	4,8	5,6	8,0	10,7	14,5	18,7

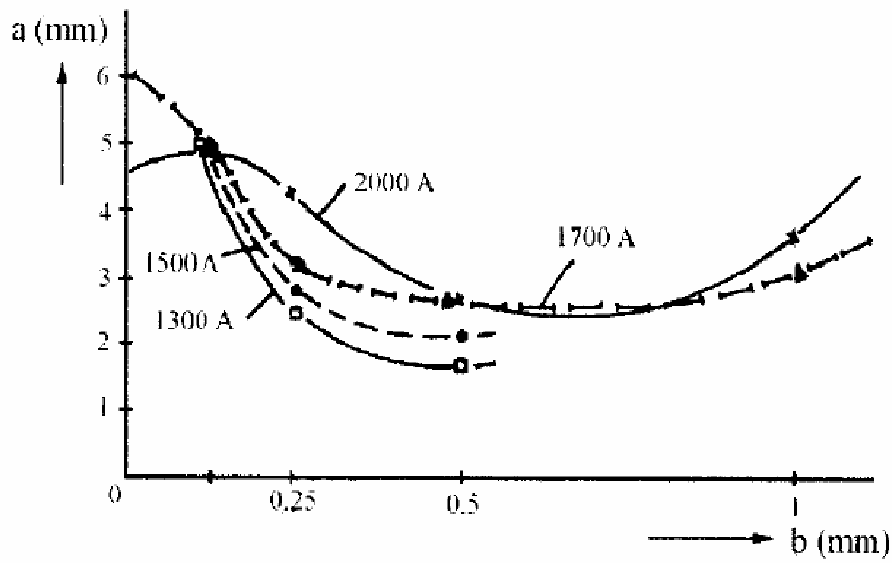


Fig 39 Dependența adâncimii de detectare funcție de lățimea rostului stabilită pentru pulberea de magnetită în suspensie

În diagrama din figura 39 se exemplifica dependența a =f(b) obținută la experimentarea unei pulberi magnetice de Fe304 în suspensie, având granulația de 10 ÷30 μm, folosindu-se ca parametru intensitatea de magnetizare, [30]. Datele complete obținute în urma experimentării unui număr de 12 sortimente de pulberi magnetice de diferite proveniențe sunt ilustrate în figura 40. Dependentele a = f(I) au fost ridicate pe lățimi de rosturi b = const., aflate în intervalul 0,25 + 4 mm, [30].

Aceste rezultate permit să se tragă următoarele concluzii:

• sensibilitatea de detectare a defectelor plane prin metoda cu pulberi magnetice este de ordinul 0,1 ... 0,5 mm, fiind influențată şi de natura pulberii;

• sensibilitatea maximă se obține în cazul fisurilor şi nepătrunderilor foarte înguste, unde se asigură chiar contactul suprafețelor (lățime zero); la lățimi de peste 4 mm câmpul de dispersie dispare;

• adâncimea maximă detectabilă a defectelor este de 4 - 8 mm;

în general nu se poate face o legătură între curentul de magnetizare şi mobilitatea pulberii;

• cea mai mobilă este pulberea fluorescentă şi suspensia y - Fe2O3, cu forme aciculare;

• cea mai lentă este pulberea de magnetită;

• capacitatea maximă de detectare în profunzime (penetrabilitatea) este limitată la nivele ale intensității curentului de magnetizare de cca. 1000 - 2000 A; unele pulberi sunt împroşcate la curenți de magnetizare de peste 1700 A.

Performantele maxime, în domeniul decelabilității discontinuităților se situează, după [55], în cazul unui control condus cu un câmp de magnetizare optim, folosind pulberi magnetice de granulație fină, fluorescente, şi mijloace optice de examinare adecvate, la nivelul unor discontinuități cu o deschidere (lățime) de până la 0,001 mm, până la adâncimea de 0,010 mm.

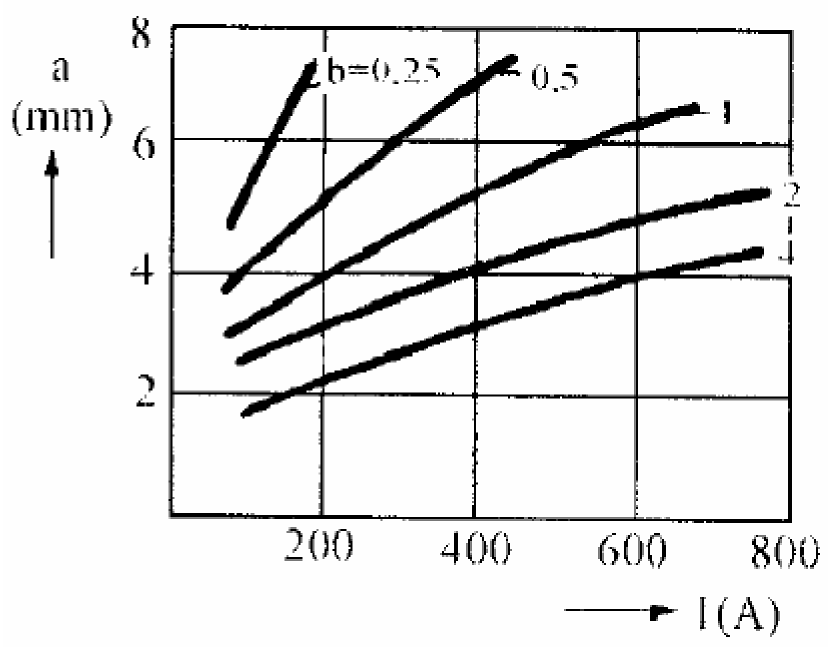


Fig. 40 Corelații experimentale - adâncime de detectare funcție de intensitatea curentului de magnetizare - pentru diferire valori ale deschiderii discontinuității

Lucrarea 3

Controlul cu ultrasunete

1. ***Denumirea metodei***: EXAMINAREA ULTRASONICĂ (*UT – Ultrasound Testing*)

2. ***Tipul de examinare***: acustic.

3. ***Agentul de investigare***: ultrasunete emise de traductoare piezoelectrice.

4. ***Fenomenul fizic de bază***: reflexia şi refracţia undelor ultrasonore.

5. ***Modul de aplicare***: introducerea undelor ultrasonore în materialul controlat, cu ajutorul unui traductor piezoelectric şi reflexia acestora pe suprafaţa discontinuităţilor; reflexiile sunt înregistrate de acelaşi traductor sau de un altul, amplificate şi redate pe ecranul unui osciloscop.

6. ***Domeniul de utilizare***: fisuri, goluri, incluziuni, nepătrunderi, delaminări, măsurări de grosimi etc.

7. ***Indicaţia de defect***: semnale luminoase pe ecranul osciloscopului.

8. ***Materialul obiectului controlat***: metale şi aliaje (aluminiu şi aliajele lui, zirconiu, oţel carbon sau slab aliat; mai greu oţel inoxidabil, alame, bronzuri), materiale plastice, materiale compozite, betoane (în prezent, cu tehnici speciale, aproape orice material folosit în domeniul tehnic.

9. ***Particularităţi*** - ultrasunetele (US) sunt vibraţii mecanice care se transmit în diverse medii, sub formă de unde elastice (sinonim *unde ultrasonore*), cu frecvenţe cuprinse între 16 kHz şi 10^4 MHz. În domeniul examinărilor nedistructive, sunt folosite uzual frecvenţele cuprinse între 0,5 şi 30 MHz. În funcţie de modul în care se propagă, undele ultrasonore pot fi: *longitudinale*, *transversale* şi *de suprafaţă*. Atunci când un fascicul de unde ultrasonore trece dintr-un mediu în altul, cu proprietăţi acustice diferite, se produc fenomene de *reflexie* şi *refracţie*, asemănătoare celor cunoscute din domeniul opticii, pentru care este valabilă legea Snell – Descartes. Ultrasunetele utilizate în defectoscopie sunt produse în exclusivitate prin efect piezoelectric. Dintre materialele naturale (cristalul de cuarţ) sau sintetice, care prezintă acest efect, cel mai folosit este titanatul de bariu, material sintetic presat sub formă de pastile de diferite forme, denumite impropriu, dar uzual, "cristale". O particularitate importantă a examinării cu ultrasunete este aceea ca se pot examina produse cu grosime sau lungime foarte mare (şi peste 10 m), ceea ce nici o altă metodă nu permite.

10. ***Scheme de principiu*** – principalele scheme de examinare aunt prezentate în figurile 1.36, 1.37, 1.38 şi 1.39. Dispozitivele folosite pentru producerea undelor ultrasonore poartă denumirea de *traductoare ultrasonore*. Întrucât la cele mai răspândite tehnici de examinare traductorul vine în contact cu suprafaţa obiectului examinat – o palpează – s-a răspândit denumirea comună de *palpator ultrasonic*. Rezultatele examinării sunt, de regulă, prezentate pe un ecran.

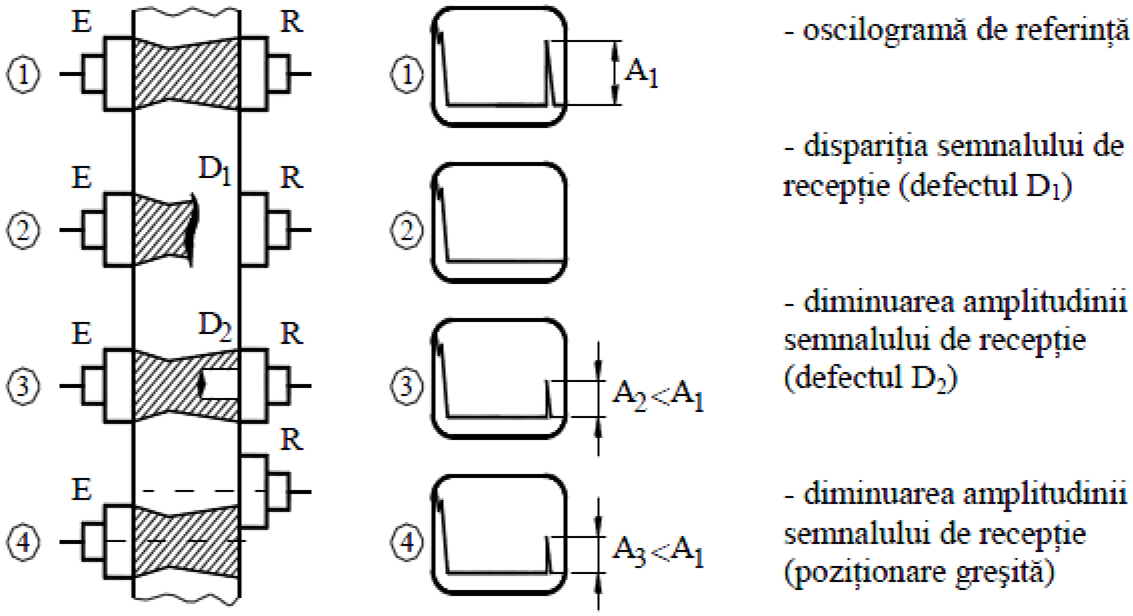


Fig. 1.36. Metoda impulsului transmis (a umbrei) - palpatoare normale.

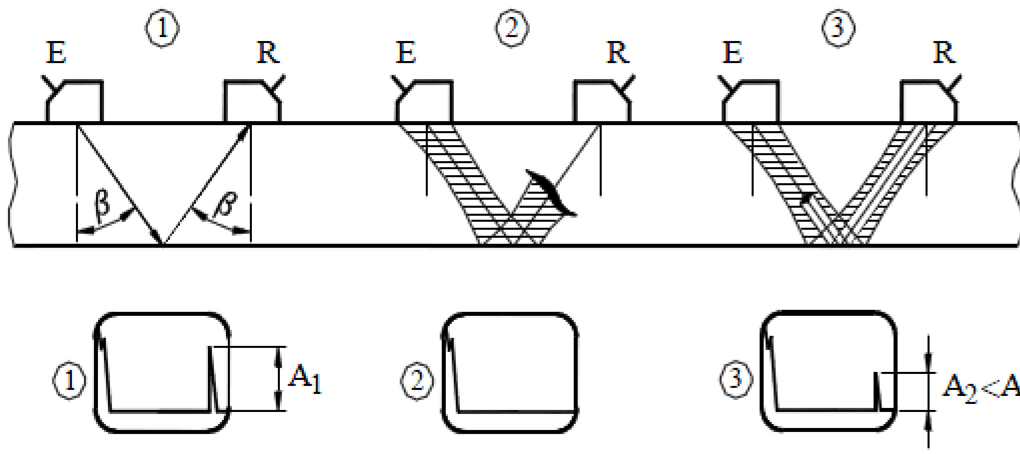


Fig. 1.37. Metoda impulsului transmis – palpatoare înclinate.

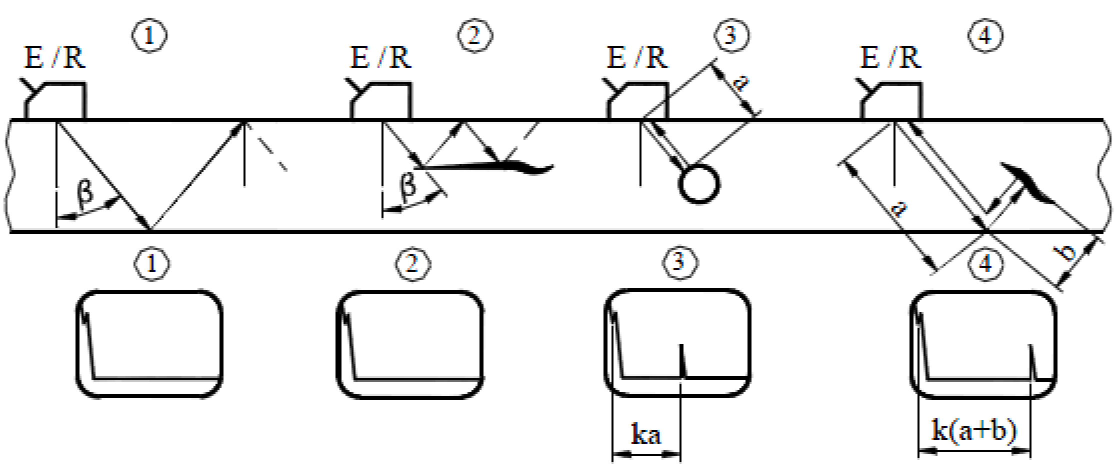


Fig. 1.38. Metoda impulsului reflectat – palpatoare înclinate.

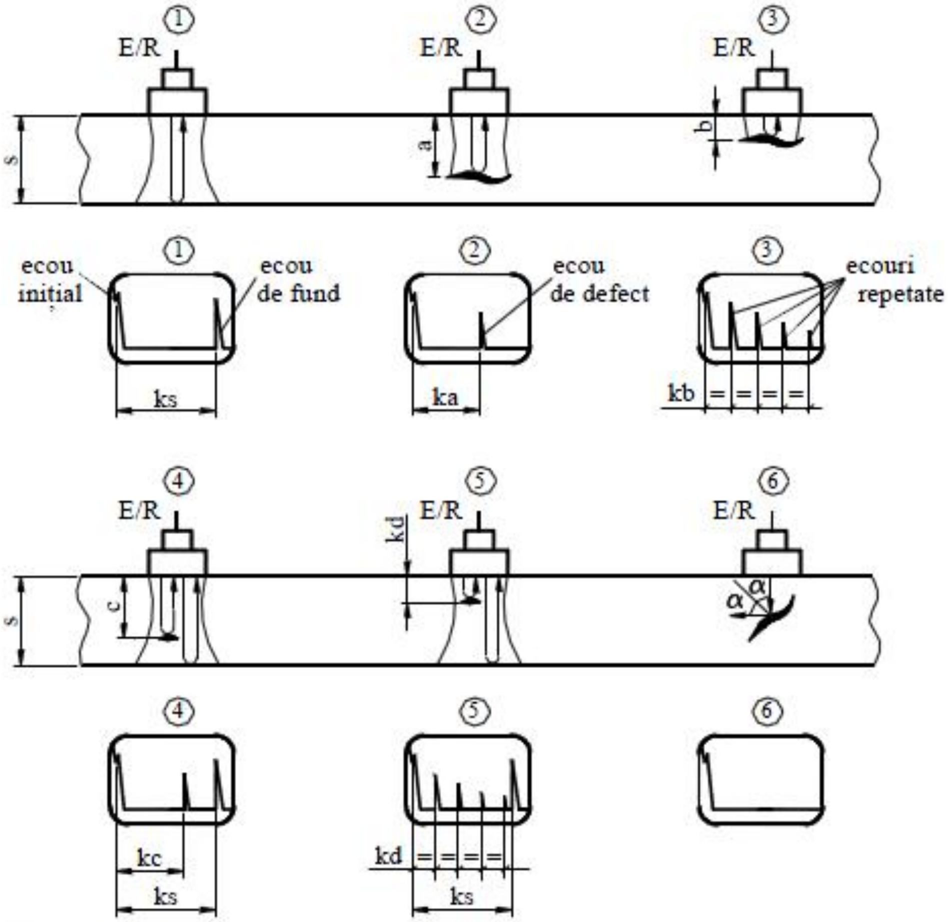


Fig. 1.39. Metoda impulsului reflectat (a ecoului) – palpatoare normale.

Pentru a produce unde transversale, cristalul palpatorului trebuie să fie astfel înclinat încât unda longitudinală incidentă produsă de acesta să formeze cu normala un unghi mai mare decât *primul unghi critic* – unghiul pentru care unda longitudinală din mediul al doilea se așterne pe suprafața piesei examinate. Valorile acestui unghi, pentru palpatoarele înclinate și pentru unde transversale sunt: $\beta = 35°; 45°; 60°; 70°; 80°$, cele mai folosite fiind palpatoarele cu $\beta = 45°$ și 70°. Unghiurile precizate sunt valabile <u>numai</u> pentru examinarea oțelului.

11. ***Echipament de bază***: defectoscop, traductoare, cabluri de legătură, cuplant, etaloane, blocuri de calibrare. Aparatul electronic care permite examinarea cu ajutorul ultrasunetelor se numește *defectoscop ultrasonic* (fig. 1.40 și fig. 1.41).



Fig. 1.40. Defectoscoape ultrasonice clasice.

La defectoscop se cuplează unul sau mai multe palpatoare, care lucrează ca emitor/receptor *E/R*, ca emitor *E*, iar celălalt ca receptor *R* sau un palpator dublu cristal E - R.





Fig. 1.41. Defectoscoape ultrasonice moderne (digitale, *phased array*).

8. ***Observații și recomandări***:

- În mediile lichide sau gazoase se pot propaga numai unde longitudinale, în timp ce în cele solide se pot propaga toate tipurile de unde.
- Prin *cuplare* se înțelege asigurarea unei transmisii acustice corespunzătoare între palpator și piesa de examinat. Lipsa unei cuplări corecte poate compromite rezultatul examinării.
- Principalele cauze care produc atenuarea sunt: *absorbția* cauzată de viscozitatea mediului și conductivitatea sa termică (pentru toate mediile); *difuzia* cauzată de pierderile prin reflexie pe suprafețele grăunților cristalini, porilor, incluziunilor etc. (pentru mediile solide). Cu cât atenuarea este mai mică, cu atât materialul respectiv este mai ușor controlabil cu ultrasunete.
- Rezultatele examinării cu ultrasunete sunt condiționate de reglarea și verificarea aparaturii de examinare. Înaintea începerii examinării sistemul se etalonează.
- *Etalonarea* constă în reglarea optimă a parametrilor defectoscoapelor ultrasonice, astfel încât indicațiile obținute să fie corect localizate, folosind pentru aceasta suprafețe reflectante și defecte etalon cu caracteristici cunoscute, dispuse pe blocuri de calibrare sau de referință.
- Etalonarea se efectuează și pe parcursul examinării, pentru a se verifica dacă sensibilitatea rămâne constantă, indiferent de modificarea caracteristicilor componentelor electronice ca urmare a variațiilor de temperatură.
- Ansamblul format din defectoscopul ultrasonic și palpator se consideră că are *sensibilitate de evidențiere* mare, atunci când ecourile reflectoarelor mici apar clar pe ecran. De menționat faptul că defectele minim detectabile, au dimensiuni caracteristice de ordinul de mărime a câtorva lungimi e undă (lungimea de undă = viteza de propagare a undelor US raportată la frecvență).

Lucrarea 5

Controlul cu radiații penetrante

1. ***Denumirea metodei***: EXAMINAREA CU RADIAȚII PENETRANTE (*RT – Radiation Testing*)

2. ***Tipul de examinare***: cu radiații penetrante.

3. ***Agentul de investigare***: radiațiile X sau γ (penetrante, ionizante).

4. ***Fenomenul fizic de bază***: atenuarea radiațiilor la străbaterea unui mediu; impresionarea peliculelor radiografice de către radiațiile penetrante sau modificarea gradului de strălucire pe ecrane.

5. ***Modul de aplicare***: peliculele (filmele) fotosensibile sunt impresionate de către radiațiile penetrante care poartă *signatura* obiectului pe care l-au străbătut; discontinuitățile atenuează diferit radiațiile, ceea ce se vede pe film, după developarea acestuia sau pe ecrane fluorescente speciale se produc pete cu strălucire variabilă în funcție de intensitatea radiației.

6. ***Domeniul de utilizare***: fisuri, goluri, incluziuni metalice sau nemetalice, defecte de formă, corectitudinea asamblării; piese turnate, forjate și sudate.

7. ***Indicația de defect*** (*relevantă*): zone cu înnegrire diferită în raport cu cea a fondului filmului (la examinarea radiografică), de obicei mai negru sau pete mai mult sau mai puțin strălucitoare la examinare prin radioscopie.

8. ***Materialul obiectului controlat***: oricare.

9. ***Particularități*** - termenul general de radiatii penetrante sau ionizante se referă la radiațiile X, γ, β, α și neutroni. Aceste radiații de naturi diferite, iau naștere în atomii materialului - sursă și ionizează mediile materiale pe care le traversează, adică smulg electronii atomilor din mediul respectiv. Principalele avantaje ale metodei radiologice, față de alte metode defectoscopice, constau în următoarele: permite determinarea formei și naturii defectului, oferă posibilitatea existenței unui document de examinare – radiografia, detectarea defectelor interne cu o sensibilitate satisfăcătoare în diverse materiale; se pot examina piese cu grosimi variabile, uzual, cu radiații X, până la grosimi de (oțel) 200 mm și grosimi de 500-600 mm, cu acceleratoare liniare sau radiații gama; instalațiile gama nu necesită surse de curent ș.a. Principalele dezavantaje sunt: măsurile speciale de protecție care trebuie adoptate, întrucât radiația penetrantă este dăunătoare organismrelor vii, costul ridicat al examinărilor și al echipamentelor, în general, timpul necesar pentru examinare mai lung (în cazul radiografiilor).

10. ***Scheme de principiu*** – intensitatea radiației penetrante care străbate obiectul examinat este atenuată în funcție de natura, grosimea și structura materialului obiectului. Variațiile de intensitate sunt vizualizate cu ajutorul unor pelicule asemănătoare celor fotografice (filme radiografice), ecrane fuorescente sau

aparate de măsură (fig. 1.29). În prezent, cea mai răspândită, în prezent, în lume, este variantă denumită radiografică, la care detectorul este un film radiografic.

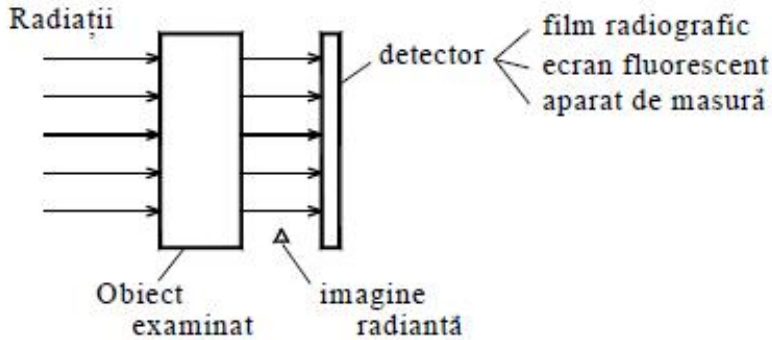


Fig. 1.29. Schema de principiu a examinării cu radiații penetrante.

11. ***Echipament de bază*** – în domeniul examinărilor cu radiații penetrante principala componentă a sistemului este sursa de radiații, care poate fi un aparat Röntgen (fig. 1.30), un betatron, accelerator sau o sursă de radiație gama. Instalațiile mai conțin în afară de sursă și o serie de alte componente, cum ar fi: pupitru de comandă, cabluri de legătură, dipozitiv de ridicare și manevrare etc. (fig. 1.31). Utilizarea unei instalații de examinare cu radiații penetrante necesită spații adecvate: cameră de lucru, cameră de comandă, cameră obscură pentru prelucrarea filmelor, cameră pentru analiza, citirea și interpretarea filmelor.





Fig. 1.30. Aparate Röntgen.

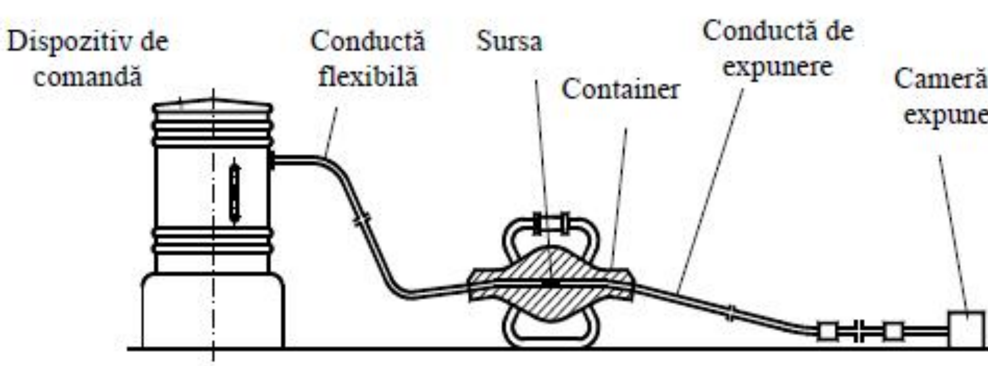
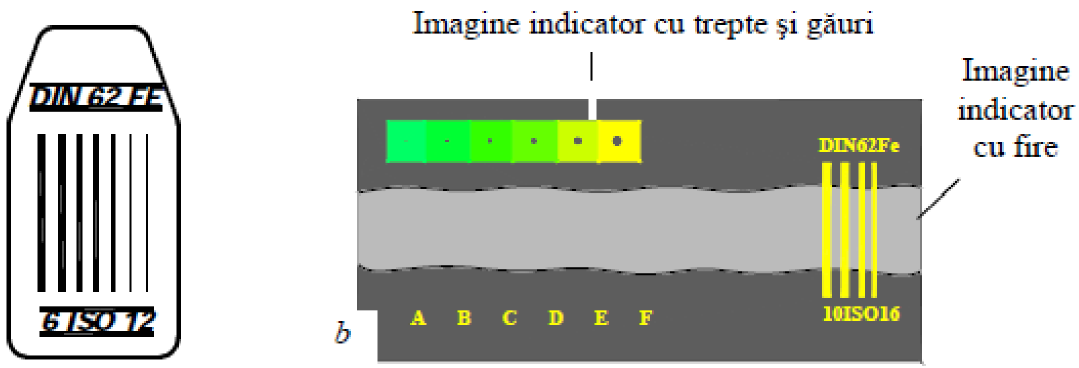


Fig. 1.31. Instalație de gamagrafiere.

Pentru analiza filmelor sunt utilizate *negatoscoape* - ecrane luminoase pentru examinarea prin transparență a negativelor radiografice (fig. 1.32) şi pentru verificarea calității examinării se folosesc indicatoare de calitate a imaginii, mici dispozitive cu elemente cu grosime variabilă (fig. 1.33).



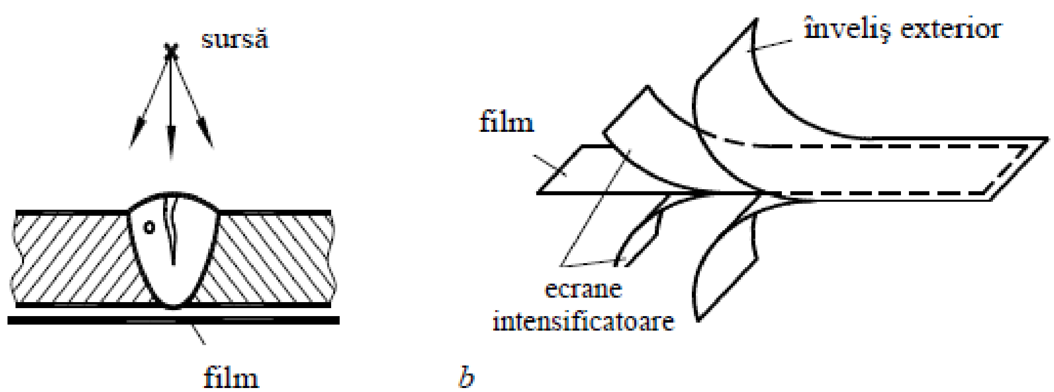
Fig. 1.32. Negatoscoape.



a *b*

Fig. 1.33. Indicatoare de calitate a imaginii: *a* – indicator cu fire; *b* – imaginea indicatoarelor pe radiografie

Filmele radiografice, ca principale tipuri de detectoare în examinarea cu radiații penetrante, livrate într-o gamă dimensională, sunt alcătuite dintr-un suport de celuloid pe care există o depunere de halogenură de argint. Filmul este aşezat, de regulă între două ecrane intensificatoare, care îmbunătățesc contrastul pe film şi un înveliş exterior de protecție (fig. 1.34).



a *b*

Fig. 1.34. Filme radiografice: *a* - poziționare în raport cu sursa, *b* – învelişuri.

Echipamentul necesar pentru examinarea cu radiații penetrante mai cuprinde: dozimetre – aparate pentru măsurarea dozei de radiație; densitometru – aparat pentru măsurarea densității de înnegrire pe film; standuri și dispozitive pentru prelucrarea filmelor; dulapuri sau alte dispozitive pentru uscarea filmelor; dispozitive pentru fixarea filmelor pe diverse piese, cu gabarit mare, conducte, rezervoare etc.

12. ***Observații și recomandări*** – examinarea cu radiații penetrante este cea mai complexă și costisitoare metodă de examinare nedistructivă. În ultimii ani au apărut soluții tehnice interesante care vizează înlocuirea filmelor cu dispozitive de detecție reutilizabile. Din cauza costurilor ridicate, aceste dispozitive încă nu sunt utilizate decât în domenii foarte restrânse, în special în cercetare. Indicațiile de defect vizibile pe film reprezintă imaginea, ușor mărită, a proiecției defectului pe film (fig. 1.35)

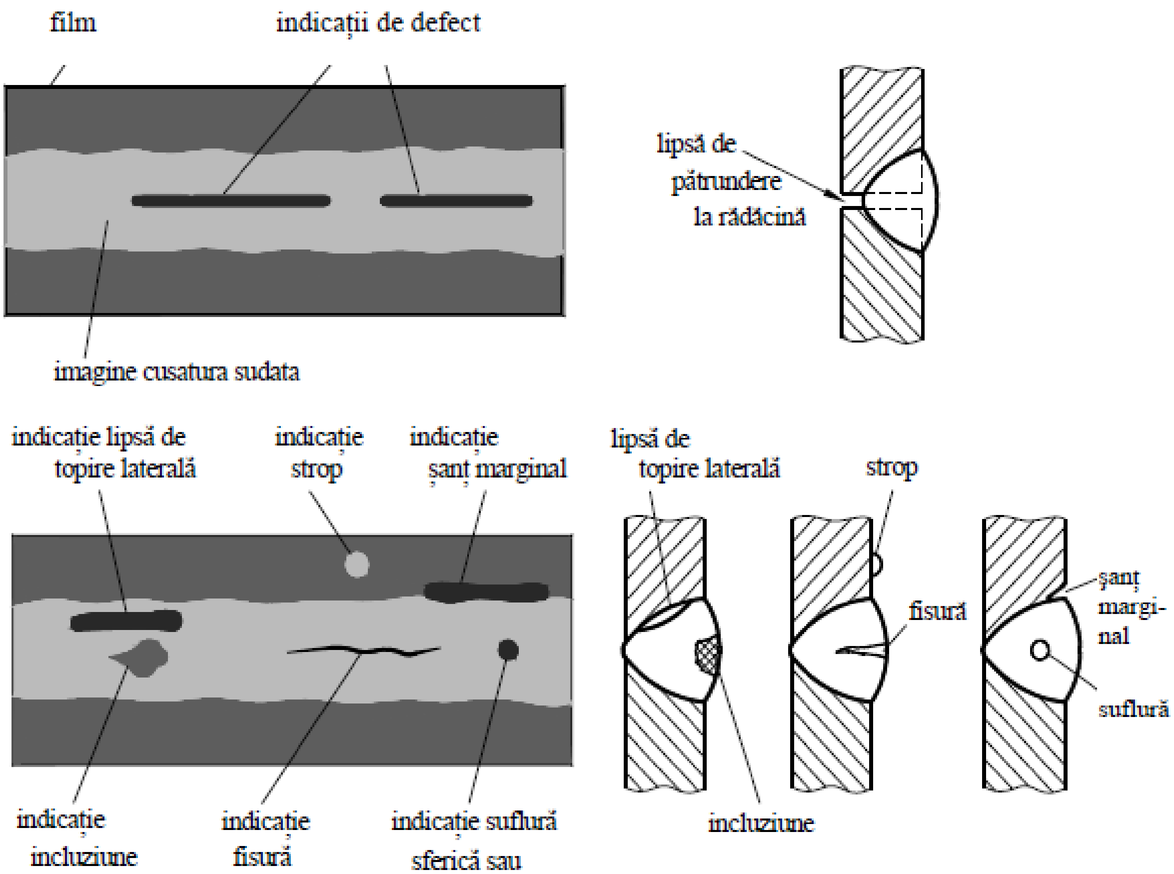


Fig. 1.35. Indicații de defect pe filme radiografice.

Pentru identificarea radiografiilor, pe fiecare porțiune a piesei care se radiografiază se amplasează semne (simboluri) din Pb ale căror imagini apar pe radiografie. Ele se amplasează în afara zonei de interes și trebuie să asigure identificarea fără echivoc a radiografiei.

Lucrarea 6

Controlul prin termografiere

1. ***Denumirea metodei***: EXAMINAREA PRIN TERMOGRAFIERE (*IRT – Infrared Thermography*)

2. ***Tipul de examinare***: termic.

3. ***Agentul de investigare***: căldura emanată de un corp sau emisă în urma încăzirii artificiale.

4. ***Fenomenul fizic de bază***: radiația termică emisă de un corp este purtătoare de informație privind omogenitatea și structura corpului respectiv

5. ***Modul de aplicare***: se detectează căldura emisă în mod natural de obiectul examinat sau se asociază sistemului de examinare cu o sursă de cădură care încălzește obiectul examinat, după care se analizează fluxul termic radiat. Propagarea căldurii în obiect depinde de structura acestuia.

6. ***Domeniul de utilizare***: mentenanța instalațiilor de transport și transformare a energiei electrice, verificarea pierderilor de căldură în clădiri, examinarea unor materiale nemetalice (compozite), supravegherea proceselor exoterme sau endoterme, monitorizarea proceselor de prelucrare la cald etc

7. ***Indicația de defect***: imagini codificate în culori sau în nuanțe de gri, privind distribuția câmpului termic pe suprafața obiectului examinat.

8. ***Materialul obiectului controlat***: materiale compozite, structuri lipite, stratificate sau acoperite, metale și aliaje (nelucioase sau acoperite cu vopsea mată), materiale plastice, materiale pentru construcții (beton, ciment etc.) .

9. **Particularități**: caracterizarea unui material cu ajutorul undelor termice se bazează pe corelația dintre modul de distribuție a acestor unde și proprietățile analizate. Prezența unei discontinuități determină o anomalie de distribuție a fluxului termic și deci de temperatură în materialul examinat. Punerea în evidență a acestor anomalii furnizează informații utile privind discontinuitățile.

Termografierea în infraroșu este o tehnică ce permite obținerea, cu ajutorul unei aparaturi adecvate, *a imaginii termice,* a unei *scene termice* observate într-un domeniu spectral din infraroșu. Înțelegând prin *imagine termică* – o repartiție structurată a datelor reprezentative ale radiației infraroșii provenind de la o scenă termică și prin *scenă termică* – parte a spațiului-obiect care se observă cu o aparatură de termografiere. Domeniul spectral denumit infraroșu (IR) este o bandă din spectrul radiației electromagnetice, situată între domeniul vizibil și cel al undelor radio, cu lungimi de undă cuprinse între 0,75 și 30 μm, din care, în defectoscopie, sunt folosite uzual doar intervalele 3,5 ... 5 μm și 8 ... 12 μm.

Marele avantaj, al examinării prin termografiere îl constituie posibilitatea de a prelua imagini termice de la mare distanță (uneori km) a unor suprafețe mari într-un timp foarte scurt, comparabil cu fotografierea sau filmarea în domeniu vizibil.

10. ***Scheme de principiu*** - din punct de vedere principial metodele de termogra-fiere pot fi grupate în două mari grupe: metodele de examinare care necesită o sursă de căldură ca anexă a echipamentului de examinare, denumite *metode active* (fig. 1.52) şi metodele de control care constau în analiza sau măsurarea fluxului termic furnizat de produsul examinat (căldura există sau este produsă independent de procesul de examinare), denumite *metode pasive* (fig. 1.53).

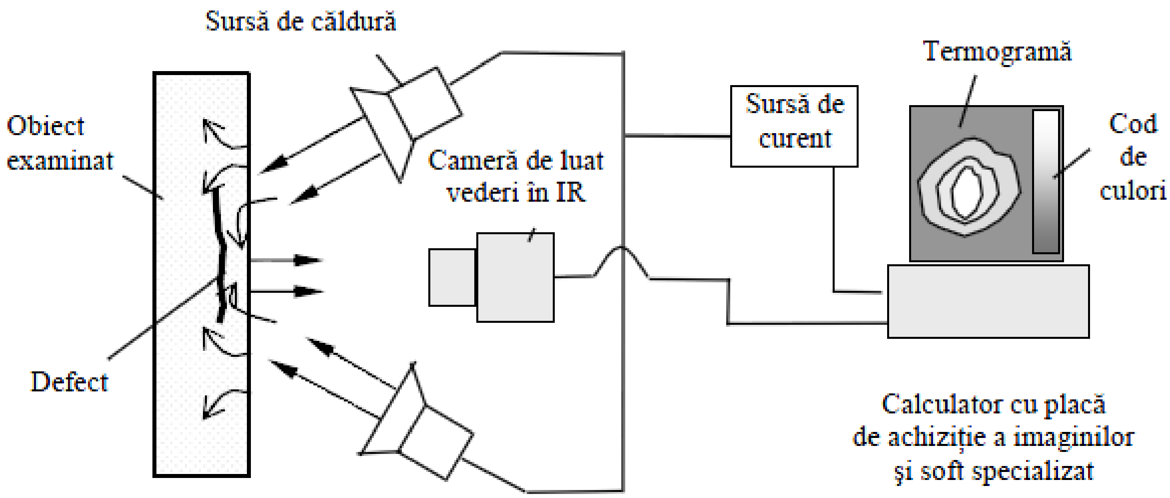


Fig. 1.52. Schema de principiu a termografierii active.

Metodele active se folosesc pentru: detectarea defectelor în materiale lipite, stratificate, acoperite, compozite (metalice sau nemetalice); măsurarea grosimilor straturilor de acoperire sau învelişurilor; caracterizarea materialelor din punct de vedere al comportamentului termic; evaluarea structurii materialelor compozite polimerice.

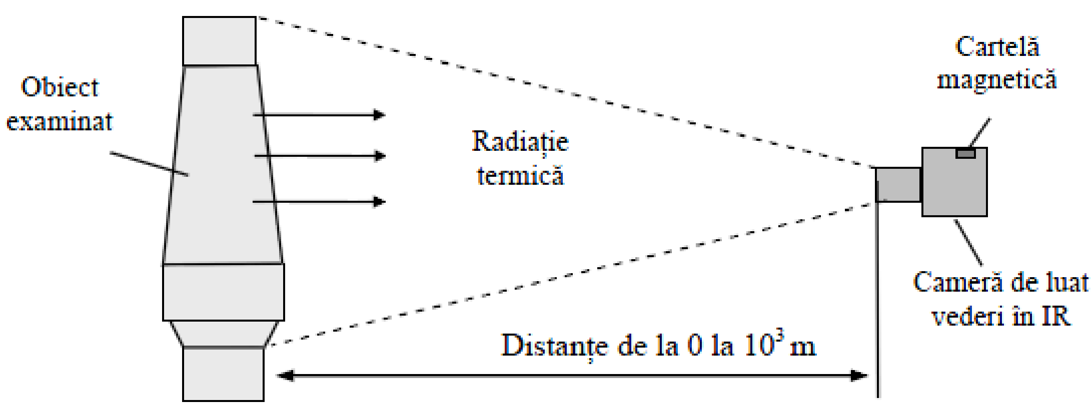


Fig. 1.53. Schema de principiu a termografierii pasive.

Metodele pasive au o aplicabilitatea extrem de largă: evidenţierea traseelor pe unde se produc pierderi de căldură în construcţii; verificarea izolaţiilor; măsurarea umidităţii sau igrasiei; detectarea fisurilor şi crăpăturilor. Cea mai răspândită aplicaţie este în domeniul mentenanţei instalaţiilor electrice. Imaginea

termică a componentelor instalațiilor electrice conține informații globale privind, pe de o parte, funcționarea normală și, pe de altă parte, informații privind disfuncțiile sau imperfecțiunile materialelor sau asamblărilor. Majoritatea componentelor electrice în funcțiune sunt calde, chiar fără a avea defecte. Ceea ce deosebește un defect de o zonă normală este o *supraîncălzire* a componentei cu defect față de cea fără defect. În cazul în care examinarea se face în varianta activă, încălzirea se poate face pe aceeași parte cu detecția sau pe fată opusă a obiectului examinat (fig. 1.54).

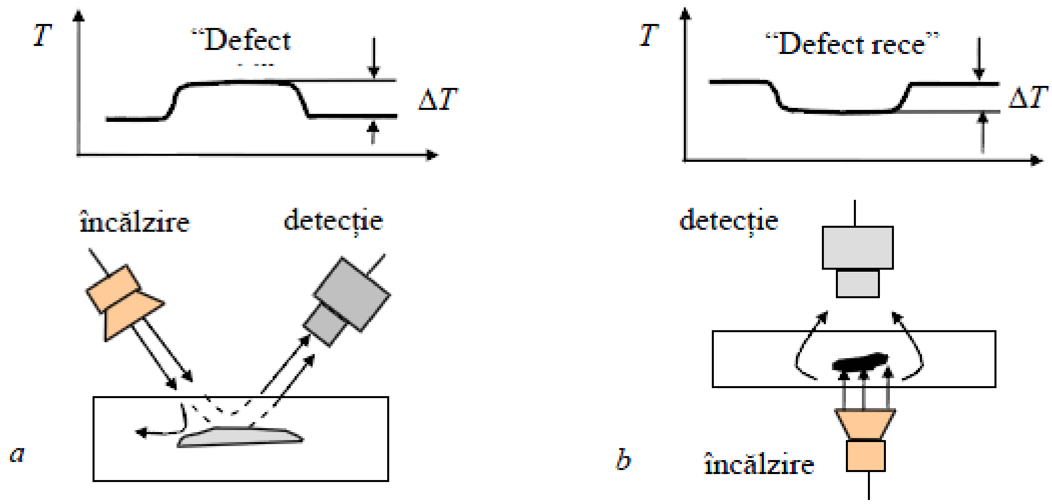


Fig. 1.54. Defectul – barieră termică:
a – examinarea pe aceeași față; *b* – examinarea pe fața opusă.

11. ***Echipament de bază*** – un sistem de examinare termografică, care poate fi utilizat atât în varianta activă (fig. 1.55, *a*) cât și în varianta pasivă (fig. 1.55, *b*) cuprinde, de regulă, următoarele componente: cameră radiometru, sistem de încălzire, masă pentru deplasarea după trei axe de coordonate, sursă de curent electric pentru alimentarea sistemului de încălzire și acționarea motoarelor care asigură deplasarea componentelor pe masa-suport, corp negru pentru etalonarea sistemului, soft specializat și computer adecvat.

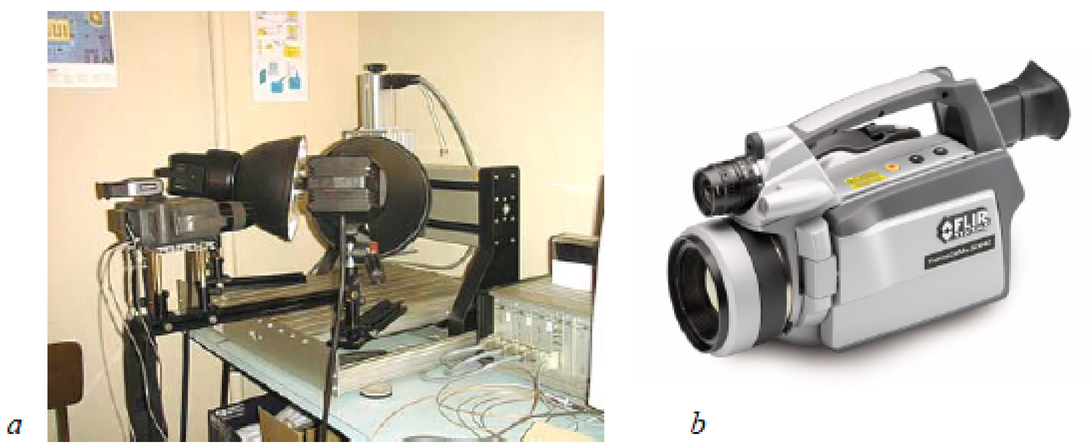


Fig. 1.55. Sistem de examinare prin termografiere: *a* – încălzire în impulsuri, cu blitzuri de radiație infraroșie; *b* – cameră radiometru.

Există o gamă largă de aparate de preluat imagini în infraroşu. Cele mai moderne au un detector cu elemente sensibile multiple denumit *FPA - Focal Plan Array*.

12. ***Observații și recomandări***:

- Termografierea în infraroşu, ca metodă de examinare nedistructivă, prezintă o serie de avantaje care au condus la dezvoltarea unui ansamblu extrem de amplu de aplicații, dar şi o serie de limite: cost ridicat al instalației (de ordinul zecilor sau sutelor de mii de dolari), calificare superioară a personalului operator (de regulă, personalul are studii superioare de fizică sau inginerie), deoarece interpetarea rezultatelor necesită cunoştinţe complexe, adeseori interdisciplinare; posibilităţi de detectare doar a defectelor situate în apropierea suprafeţei; produsele cu suprafeţe lucioase nu pot fi examinate fără o pregătire prealabilă a suprafeței materialele cu o conductivitate termică foarte mare sau foarte mică nu pot fi examinate în mod obişnuit. Toate aceste limitări pot fi mai mult sau mai puţin depăşite cu unele accesorii sau cu o tehnologie specială de examinare.
- Nici una dintre metodele clasice de examinare nedistructivă nu permite examinarea unor suprafeţe atât de mari. Imaginile termice preluate de camere de luat vederi în infraroşu sunt comparabile cu imaginile preluate de o cameră de filmat în domeniul vizibil sau cu cele înregistrate fotografic. Echipamentul, dotat cu o parte optică adecvată, portabil şi uşor de manevrat pe teren, asigură înregistrarea unor imagini din avion sau elicopter a unor ape sau terenuri minate.
- În condiţii de laborator, principala diferenţă între inspecţia termografică şi alte metode de control, cum ar fi cele cu ultrasunete, cu pulberi magnetice sau curenţi turbionari constă în posibilitatea de a detecta defecte intr-o gamă largă de materiale metalice sau nemetalice.
- Pentru caracterizarea unui sistem termografic este necesar să fie luate în considerare toate componentele lanţului radiometric. Fiecare componentă a acestuia este caracterizată de o serie de mărimi care afectează direct sau indirect capabilitatea globală a sistemului. De exemplu, dacă detectorul prezintă sensibilitate în domeniul spectral 3…5 μm, se poate spune despre sistemul termografic, care include acest detector, că este caracterizat de un *răspuns spectral* în intervalul 3…5 μm, chiar dacă filtrul optic admite o bandă spectrală mai largă.
- Evaluarea capabilităţii sistemului se poate face fie prin luarea în considerare a mărimilor caracteristice ale componentelor în mod separat, fie prin combinarea unor mărimi, reprezentative pentru sistem.
- Sistemele de termografiere pot fi destinate unei analize pur calitative sau unei analize cantitative combinate cu una calitativă. Analiza *calitativă* se face prin simpla vizualizare a distribuţiei temperaturii în cadrul unei

scenei termice, nesesizabilă direct, prin observare cu ochiul liber. În acest caz, sistemul furnizează o imagine cu un *contrast,* în domeniul vizibil, proporțional cu contrastul termic al obiectului examinat în raport cu mediul înconjurător.

1.3.10. Metode speciale

Metodele de examinare nedistructive mai puțin răspândite sau apărute mai recent, din punct de vedere istoric, sunt denumite metode speciale. În tabelul 1.4 sunt prezentate o parte din metodele considerate, în prezent, speciale.

Tabelul 1.4

Metode		Scopul testării			
		Identificarea aliajelor	Detectarea discontinuităților	Caracterizarea materialului	Măsurarea tensiunilor și deformațiilor
Acustice	Holografie acustică	nu	da[1]	nu	nu
	Acustografie	nu	da	nu	nu
	Tehnici acusto-ultrasonice	nu	nu	da	da[2]
	Tehnici fotoacustice	nu	da	da	nu
	Analiza vibrațiilor	nu	da[3]	nu	da[3]
Electrice și magnetice	Metoda Barkhausen	nu	nu	nu	da[2]
	Magneto-optică	nu	nu	nu	da[2]
	Rezonanță magnetică	nu	da	nu	nu
	Înveliș fotoelastic	nu	nu	nu	da
	Măsurarea rezistivității	da	nu	4a[4]	nu
	Măsurarea anizotropiei magnetice	nu	nu	da	da[2]
	Termoelectricitate	da	nu	nu	nu
	Tribo-electricitate	da	nu	nu	nu
Optice	Interferometrie holografică	nu	da	nu	da
	LASER	nu	nu	nu	da
	Interferometria Moire	nu	da	nu	da
	Imagistica Moire	nu	nu	nu	da
Radiații	Spectroscopia emisiei optice	da	nu	nu	nu
	Analiza undelor termice	da	da	da[2,5]	nu
	Spectroscopie prin fluorescență cu raze X	da	nu	nu	nu
Altele	Analiza chimică	da	nu	nu	nu
	Difracția neutronilor	nu	nu	nu	da

1 – precizează mărimea și poziția defectelor; 2 – măsoară tensiunile; 3 – poate ajuta la determinarea stării materialului, dar în plus examinarea trebuie să confirme prezența defectelor și deformațiilor; 4 – de exemplu, duritatea; 5 – rezistența termică, conductivitatea, difuzia termică, emisia, absorbția.

Metodele considerate clasice, au fost dezvoltate în primul rând pentru detectarea discontinuităților din materiale și piese.

Metodele speciale sunt mai frecvent folosite în caracterizarea și măsurarea proprietăților materialelor cum ar fi: deformații, comportarea la tensiuni și solicitări, în cazul materialelor identificate deja sau pentru caracterizarea unui material prin comparație cu alte materiale, în scopul identificării compoziției chimice a unui material incomplet sau deloc cunoscut. Nu toate metodele speciale sunt și noi, ca situare în timp. Unele, cum ar fi cele pentru determinarea tensiunilor, au fost aplicate în industrie încă din 1950.

> *Ceea ce au în comun metodele speciale este modul în care industria le include în tehnologii, uneori în domenii mai restrânse, cel mai adesea pentru caracterizarea materialelor și/sau pentru monitorizarea proceselor și mai puțin pentru detectarea discontinuităților.*

Tensiunile sunt evaluate frecvent prin metode optice, incluzând imagistica Moiré, holografia și alte forme de interferometrie, comparabile prin rezultate cu metodele fotoelastice sau examinarea prin difracția cu neutroni. Tensiunile existente în material pot conduce la oboseală, fisurare sau chiar ruperi. Când materialele sunt supuse acțiunii unor forțe exterioare, în interiorul acestuia se produc fie deplasări, ca răspuns la acțiunea forței, fie modificări ale formei.

Deformațiile limită se referă la modificările relative ale dimensiunilor sau formei corpului tensionat. În cazul în care corpul are o secțiune mai complicată, deoarece deformațiile sunt în mai multe direcții, tensiunile sunt definite ca o măsură a deformațiilor. Dacă aceste modificări dimensionale sunt împiedicate din diverse motive, răspunsul la aplicarea forțelor exterioare este apariția tensiunilor reziduale în material.

Identificarea aliajelor este și ea o ramură a încercărilor nedistructive deși nu se urmărește detectarea unor discontinuități sau defecte, în sensul uzual al termenului. Identificarea aliajelor necesită un ansamblu de metode, incluzând metode electronice, magnetice, chimice și cu radiații. Unele metode de identificare a aliajelor includ degradări minore ale suprafetei, cum ar fi coroziune sau polizare. Cu toate că identificarea și clasificarea nedistructivă a aliajelor este folosită de mai bine de 50 de ani, caracterizarea metalelor a început să primească o atenție deosebită în anii 1980.

Determinarea compoziției chimice și a caracteristicilor unui material sunt deosebit de importante. De cele mai multe ori, compoziția chimică a unui material afectează durata de funcționare a pieselor confecționate din acel material mai mult decât o fisurare puternică.

Detectarea unor «viitoare» discontinuități, defecte mai subtile, care într-o anumită etapa a fabricației sau chiar a funcționării nu se manifestă ca discontinuități clasic detectabile. Discontinuitățile existente într-un material nu sunt reprezentate numai de lipsa de material sau goluri clare, cum ar fi porii și fisurile. Adeseori, *interfața* dintre două materiale diferite sau dintre două straturi ale aceluiași material nedectabilă prin metode clasice, poate deveni locul unde se

produce o rupere. La solicitarea la presiune și temperatură, un material stratificat se poate contracta sau alungi în mod diferit, în straturi diferite Se creează în acest mod spații între straturi, ceea ce poate determina *exfolierea*. Acest fenomen este frecvent întâlnit, de exemplu, la plăcile din materiale compozite care învelesc navele spațiale. Același mecanism poate produce desprinderi de straturi și chiar fisuri. Măsurarea microdeplasărilor poate ajuta la detectarea precoce sau predicția ruperii materialului.

Este dificilă o trecere în revistă completă a aplicațiilor metodelor speciale în diverse domenii ale industriei. În literatura de specialitate sunt descrise metode de examinare speciale pentru domeniile: textile, hârtie, conservarea lucrărilor de arta, inginerie civilă și arhitectură, utilizări neelectrice, preparare alimente, bunuri de consum și fabrici de asamblare a produselor electronice.

Proprietățile materialelor din aliaje metalice (duritatea, reziliența, structura, deformabilitatea etc.) sunt strict determinate de compoziția chimică (elementele de aliere) și de combinarea diferitelor structuri cristaline prin tratamente termice specifice. În industria oțelului metodele speciale de încercări nedistructive sunt frecvent folosite pentru studiul și monitorizarea modificărilor proprietăților chimico-structurale. Termografierea în infraroșu este folosită adesea pentru monitorizarea operațiilor de prelucrare la cald: laminare, roluire, forjare și turnare sau pentru monitorizarea tratamentelor termice.

Metodele de identificare a aliajelor, utilizate la determinarea compoziției chimice a materialelor și diferențele cantitative ale componentelor de aliere sunt determinate prin fluorescența cu raze X, analiza spectrografică sau analiză chimică. Multe dintre aceste metode sunt aplicate și în inspecția nedistructivă a calității. Proprietățile feromagnetice ale oțelurilor aliate pot fi evaluate electromagnetic, un exemplu în acest sens este metoda care se bazează pe efectul Barkhausen. *Efect Barkhausen* este denumirea dată zgomotului care apare într-un material feromagnetic, când forța de magnetizare aplicată pe acesta se modifică. Descoperit de fizicianul german Heinrich Barkhausen în 1919 acest efect este cauzat de schimbările rapide ale mărimii domeniilor magnetice – atomi orientați magnetic la fel – în materiale feromagnetice.

Metodele fotoacustice prezintă importantul avantaj că nu necesită contact cu produsul și nu este nevoie de nici un element de cuplare.

Metodele fotoacustice se bazează pe modificările de presiune sau de densitate ale probei ca urmare a absorbției luminii sau a radiației infraroșii. În mod obișnuit, se folosește ca sursă de excitare un fascicul laser. Semnalul fotoacustic, într-o primă aproximație, este proporțional cu creșterea de temperatură a probei, deci depinde de energia absorbită. Modulația în frecvență a impulsurilor radiației laser incidente este reglată în așa fel încât să se încadreze în domeniul acustic, ceea ce permite utilizarea unor metode de amplificare specifice semnalelor acustice.

Schimbând compoziția chimică a unui material prin varierea cantitativă a unor elemente de aliere sau doar unele variabile de proces, proprietățile aliajelor pot fi, la rândul lor, variate într-o gamă largă ceea ce permite utilizarea lor într-un spectru larg de aplicații inginerești.

Metodele speciale de examinare nedistructivă oferă informații despre materiale în diverse stadii ale fabricației lor, ceea ce are o importanta deosebita în industriile de vârf. Importanța lor este amplificată în prezent deoarece eficiența operațiilor și calitatea iau tot mai mult locul producției cantitative.

Întrucât nu există o metodă ideală de examinare nedistructivă, în practică, verificarea unui produs se realizează prin combinarea mai multor metode, obținându-se *un așa numit* "*ansamblu de metode de examinare*".

Acesta cuprinde, în mod obișnuit, examinările:

- optico-vizual (obligatoriu!), completat adesea cu verificarea formei; prin *forma* piesei se înțelege configurația suprafețelor, întinderea acestora (dimensiunile), precizia geometrică (toleranțe, abateri de formă, abateri de poziție), rugozitatea suprafețelor, însușirile stratului superficial (durificat, vopsit, metalizat etc.).
- cel puțin o metodă pentru detectarea defectelor de suprafață;
- cel puțin o metodă pentru detectarea defectelor de profunzime.

De exemplu, pentru controlul final al unui recipient chimic sudat, din oțel, care lucrează la presiuni înalte, complexul de metode poate cuprinde:

- optico-vizual și verificarea formei;
- pulberi magnetice;
- radiații penetrante;
- ultrasunete;
- verificarea etanșeității.

Lucrarea 6

Controlul etanşeităţii

1. ***Denumirea metodei***: EXAMINAREA ETANŞEITĂŢII
(LT – Leak testing)

2. ***Tipul de examinare***: diferit, în funcţie de metodă.

3. ***Agentul de investigare***: apă, gaz (aer, heliu etc.), diverse substanţe chimice, lichide penetrante ş.a.

4. ***Fenomenul fizic de bază***: diferit, funcţie de metodă

5. ***Modul de aplicare***: agentul de investigare străbate neetanşeităţile pereţilor, îmbinărilor, asamblărilor şi este detectat pe partea opusă

6. ***Domeniul de utilizare***: discontinuităţi străpunse în piese turnate, sudate, matriţate, ţevi, cazane, sisteme de conducte, fitinguri, îmbinări , asamblări

7. ***Indicaţia de defect***: diferită, în funcţie de metoda aplicată: variaţie de presiune, formarea de bule, gaze trasoare detectate cu spectrometre etc.

8. ***Materialul obiectului controlat***: metale şi aliaje, materiale plastice, sticlă, cauciuc, materiale compozite; nu materiale poroase sau lemn.

9. ***Particularităţi*** – verificarea etanşeităţii se realizează practic prin mai multe metode, care se grupează, uzual, în următoarele categorii: metode *prin variaţie de* presiune, cu suprapresiune sau cu vid: proba hidraulică, pneumatică, retenţia vidului, metoda vasului compensator, cu bule de gaz în lichid, cu film lichid şi bule de gaz, cu gaze trasoare, cu heliu, cu halogeni, cu freon şi flacără de gaz, cu hidrogen; *metode locale*, prin care se pune în evidenţă locul prin care se produce scurgerea; *metode globale*, prin care se pune în evidenţă doar existenţa scurgerilor şi, eventual, mărimea acestora.

10. ***Scheme de principiu*** – având în vedere faptul că există un număr foarte mare de metode de verificare a etanşeităţii, este evident faptul că pentru fiecare metodă se poate prezenta o schemă de principiu. În figura 1.42 este prezentată schema cea mai generală.

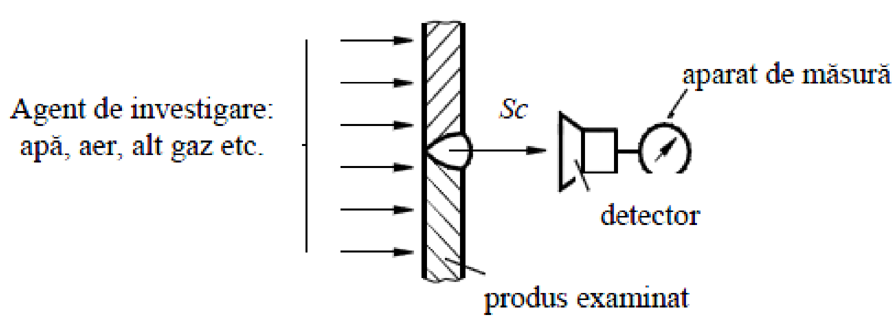


Fig. 1.42. Schema de principiu a verificării etanşeităţii (S_c – scăpări).

Detectorul poate evidenția prezența scăpărilor prin: simțurile omului (miros, auz, pipăit); variația presiunii; formarea bulelor; o reacție chimică; detectarea ionilor; detectarea radiațiilor; detectarea ultrasunetelor etc. Dintre metodele de verificare a etanşeității, cea mai răspândită este proba hidraulică, urmată de proba pneumatică, probă care oferă o detectabilitate mai ridicată decât cea hidraulică (fig. 1.43).

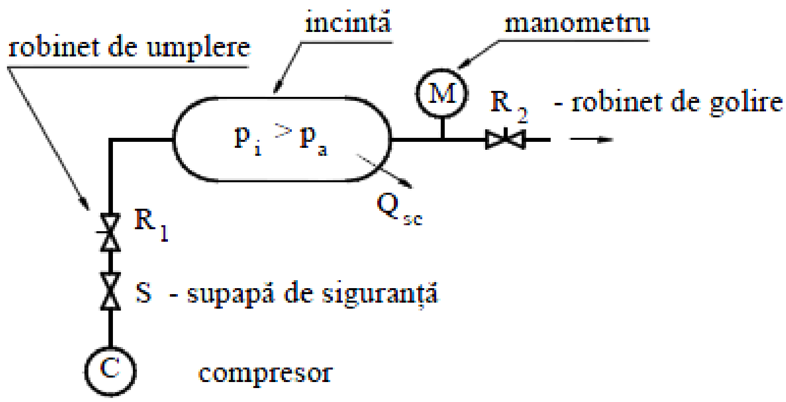


Fig. 1.43. Schema de principiu a probei pneumatice.

Incinta verificată se umple cu gaz sub presiune, urmărindu-se variația presiunii în timp (este o metodă din categoria celor cu suprapresiune, globală). Neetanşeitățile sunt puse în evidență prin: scăderea presiunii în timp; deformarea pereților; uneori este necesară combinarea cu alte metode (cu bule de gaz, cu gaze trasoare).

Metoda bulelor de gaz în lichid face parte din categoria metodelor de verificare a etanşeității prin variația presiunii. Metoda prezintă două variante de bază (fig. 1.44): verificarea cu film lichid (fig. 1.44, *a*) şi verificarea prin imersie (fig. 1.44, *b*).

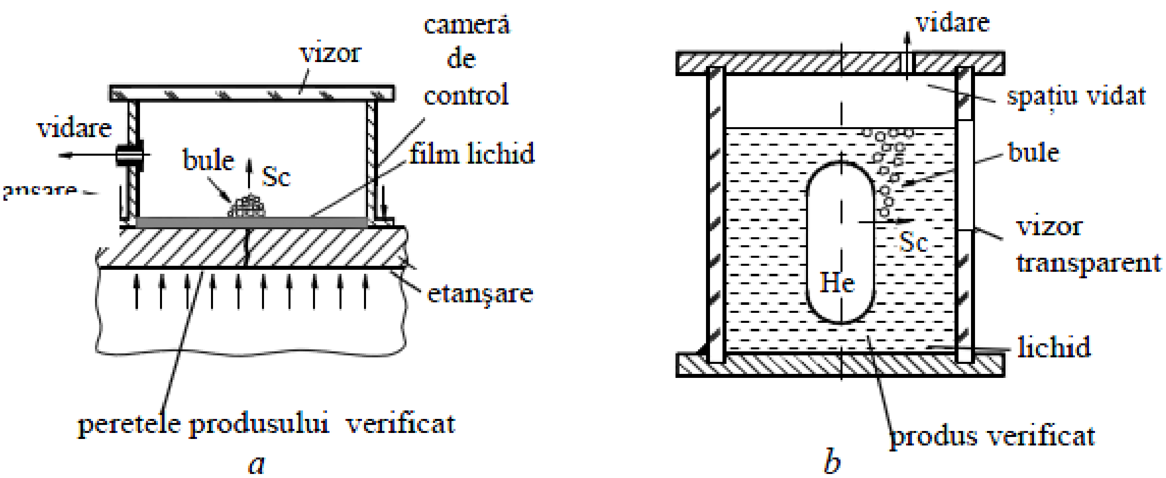


Fig. 1.44. Schema verificării etanşeității prin metoda bulelor de gaz în lichid.

Diferența de presiune dintre interiorul şi exteriorul produsului examinat determină apariția scăpărilor prin neetanşeități, care, prin stratul de apă mai subțire sau mai gros, formează nişte bule de gaz, sesizabile, cel mai adesea, cu ochiul

liber. În cazul in care gazul utilizat ca agent de investigare este un gaz special, şi detecția se bazează pe evaluarea cantității de gaz scăpate prin neetanşeități, metoda de verificare se numeşte *cu gaze trasoare*. Gazul trasor este detectat cu un detector de gaz special după ce a străbătut neetanşeitatea (un exemplu în acest sens este detecția cu spectrometru de masă).

11. ***Echipament de bază*** – este adecvat metodei şi este extrem de variat în funcție de aceasta. În figura 45 este prezentată imaginea unui compresor ca sursă de presiune la utilizarea probei pneumatice. Compresorul de aer se asociază cu o unitate de comandă cu pupitru şi computer, aparate de măsurare a presiunii (manometre), conducte flexibile şi elemente de legătură (fitinguri), pompă de vid.



Fig. 1.45. Compresor de aer.



Fig. 1.46. Detector de Heliu.

Detectorul de heliu (fig. 1.46 - heliul este cel mai utilizat gaz trasor) este, de regulă, un spectrometru de masă cu mare sensibilitate (5 ppm în aer). Spectrometrele moderne oferă un semnal optic şi sonor, reglabil în funcție de cantitatea de heliu detectat (debit minim de scăpări detectabil 5 x 10^{-6} mbar l/s), posiblitatea de comandă de la distanță şi înregistrarea rezultatelor. În figura 1.47 este prezentat schematic spectrometrul de masă.

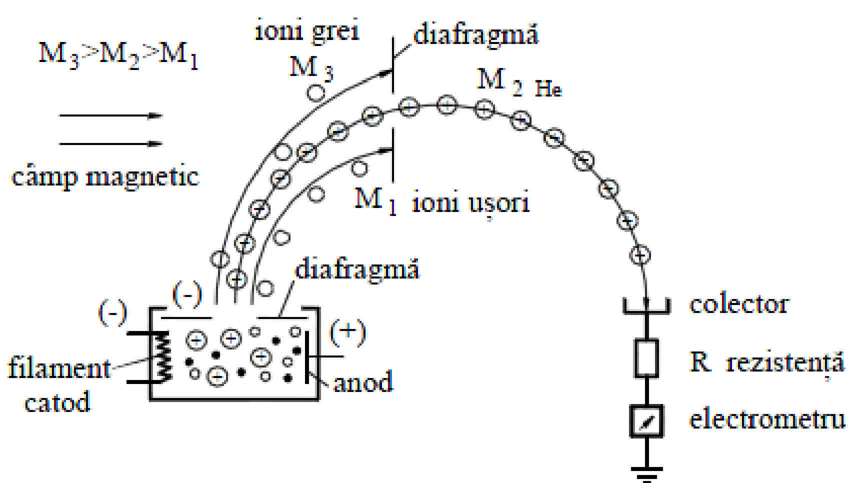


Fig. 1.47. Spectrometrul de masă.

Gazul scăpat prin neetanşeități ajunge în camera de ionizare, între un anod şi un catod, de unde iese printr-o diafragmă legată la borna negativă a unei surse de curent. Câmpul magnetic deviază traseul ionilor amestecați (heliu cu gaze din atmosfera înconjurătoare) în funcție de masa acestora. Astfel, ionii cu mase M_1 si

M_3 nu trec de diafragma verticală. Ionii de heliu cu mase M_2 ajung într-un colector de ioni, unde generează un curent electric măsurabil.

12. ***Observații și recomandări***:

- Etanșeitatea este o noțiune relativă! NU EXISTA produse perfect etanșe, ci produse cu un anumit grad de etanșeitate
- Prin *sensibilitatea unei metode de verificare a etanșeității* se înțelege cel mai mic debit al scăpărilor, sesizabil prin metoda respectivă. Ea se exprimă în unități de debit al scăpărilor ($Pa.m^3/s$).
- La estimarea sensibilității de detectare, în cazul metodelor bazate pe evidențierea variațiilor de presiune, este necesar să se țină cont și de sensibilitatea aparatului cu ajutorul căruia de măsoară presiunea (manometrul cu element elastic, cel mai folosit, este caracterizat din acest punct de vedere prin *clasa de exactitate*, inscripționată pe cadranul acestuia prin cifre, reprezintă erorile de măsurare ±, în procente din limita superioară de măsurare. Cu cât cifrele sunt mai mici, cu atât precizia de măsurare este mai mare).
- La metodele de verificare bazate pe măsurarea variației de presiune, presiunea de lucru ar trebui să fie cât mai mare pentru ca să se pună în evidență neetanșeitățile foarte mici. Din motive de securitate, presiunea se limitează însă la anumite valori.
- În cazul în care presiunea scade repede, după începerea testului, acest fenomen arată existența unor scăpări mari, deci a unor defecte grosolane. Testul se întrerupe și se procedează la găsirea neetanșeităților, folosind o metodă locală adecvată, se remediază defectele și se reia testul.
- Pentru stabilirea condițiilor tehnice de efectuare a testului, se folosesc, de regulă norme tehnice specifice produsului verificat. În aceste norme există uneori precizarea că "în timpul verificării nu se admit pierderi de presiune" ca o condiție de acceptare. Considerăm discutabilă această precizare, atâta timp cât aparatul de măsură introduce o eroare de măsurare. Corect este să se considere că există o pierdere egală cu eroarea de măsurare, dată de clasa manometrului folosit, ceea ce este acoperitor.
- Un gaz, pentru a putea fi folosit ca gaz trasor trebuie să îndeplinească următoarele condiții: să nu existe în cantități mari în atmosferă; să nu fie toxic, inflamabil sau exploziv; să aibă proprietăți fizice (viscozitate, masă moleculară mică) care să-i permită trecerea prin orificii foarte mici; să există o metodă care să permită detectarea prezenței gazului în cantități foarte mici. Gazul care îndeplinește toate aceste condiții este heliul (He). El are cea mai mică moleculă (aproximativ 1,9 Å), iar concentrația în atmosferă este foarte mică ($7 \cdot 10^{-5}$% în greutate, $5,2 \cdot 10^{-4}$% în volum). Se mai pot folosi și alte gaze: argonul (0,93%); hidrogenul ($5 \cdot 10^{-5}$%) și freonul.

Lucrarea 8

Controlul prin emisie acustică

1. ***Denumirea metodei***: EXAMINAREA PRIN EMISIE ACUSTICE

(*AET – Accustic Emission Testing*)

2. ***Tipul de examinare***: acustic

3. ***Agentul de investigare***: obiectul examinat este supus unei solicitări din exterior care provoacă o emisie acustică specifică obiectului

4. ***Fenomenul fizic de bază***: solicitarea obiectului testat (compresiune, dilatare termică, tracțiune etc.) determină mici deplasări în zona defectelor, care generează vibrații, ce se propagă prin piesă sub formă de unde sferice.

5. ***Modul de aplicare***: obiectul examinat este supus unei solicitări mecanice sau de altă natură după care se captează emisia acustică produsă de defectele existente sau de alte fenomene care se manifestă sub solicitare. Metoda se aplică și produselor supuse unor solicitări ciclice în timpul funcționării sau se monitorizează pe termen lung funcționarea.

6. ***Domeniul de utilizare***: discontinuități străpunse în piese turnate, sudate, matrițate, țevi, cazane, sisteme de conducte, fitinguri, îmbinări, asamblări

7. ***Indicația de defect***: diferită, în funcție de metodă.

8. ***Materialul obiectului controlat***: metale și aliaje, materiale plastice, sticlă, cauciuc, materiale compozite; nu materiale poroase sau lemn.

9. ***Particularități***: examinarea prin analiza emisiei acustice este o metodă nedistructivă, care constă în înregistrarea emisiei acustice produse într-un material, ca urmare a stimulării acestuia într-un anumit mod (presare, îndoire, lovire, încălzire, răcire, rupere etc.). *Emisia acustică* este un fenomen care constă în eliberarea rapidă a energiei, sub formă de unde elastice, care se propagă într-un material și pot fi detectate la suprafața acestuia. Zona materialului în care se generează evenimente care se manifestă sub formă de vibrații se numește sursă de EA. Exemple de fenomene care generează surse de EA: mișcări structurale de dislocare, în domeniul deformațiilor elastice; transformări de fază; apariția și propagarea fisurilor; scurgerea fluidelor prin interstiții; spargerea peliculelor de oxizi, zgură, acoperiri de protecție; desprinderea așchiilor și ruperea muchiilor sculelor așchietoare; fenomenul de cavitație etc.

10. ***Scheme de principiu*** – sistemul care captează, amplifică și analizează emisia unui produs aflat sub o solicitare cu scopul identificării unor defecte sau disfuncționalități cuprinde un ansamblu de componente prezentate sintetic în figura 1.48. Produsul examinat este supus unei solicitări (în figură - o solicitare la tracțiune). Fisura existentă în interiorul produsului este o sursă de emisie acustică, fie datorită microfrecărilor care se produc între suprafețele acesteia, fie din cauza

creșterii sau propagării fisurii. Semnalul acustic produs ca urmare a eliberării rapide de energie se propagă prin materialul controlat sub formă de unde elastice ce pot fi detectate la suprafața produsului cu ajutorul unor senzori denumiți **captori**. Un captor conține, în principal, un traductor care transformă oscilația mecanică în oscilație electrică. Semnalul electric este transmis defectoscopului, unde este amplificat și prelucrat în diverse moduri, astfel încât informațiile să poată fi analizate și interpretate.

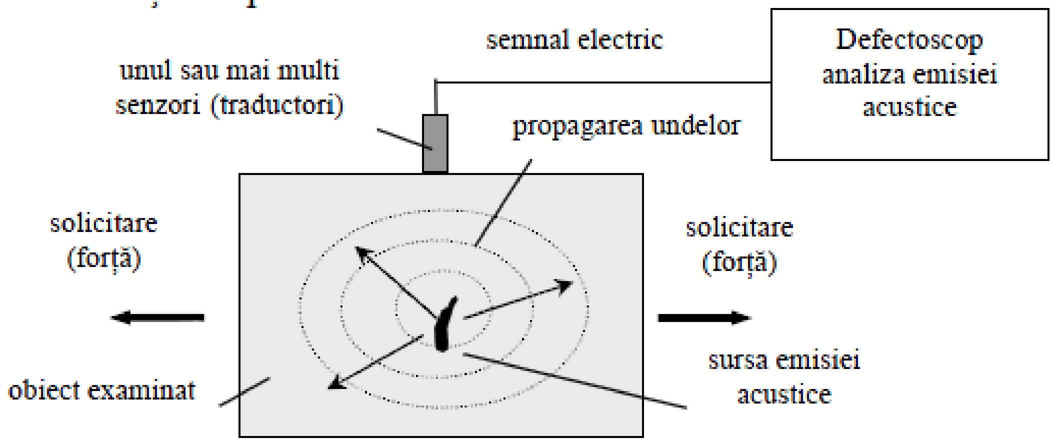


Fig. 1.48. Schema de principiu a examinării prin analiza emisiei acustice.

Examinarea prin această metodă presupune eliminarea emisiei surselor parazite (*surse parazite* – surse de emisie acustică cauzate de acțiunea altor fenomene decât cel studiat. Exemple: zgomotul produs de instalațiile mecanice, angrenaje, motoare electrice, surse de curent pentru sudare, curgere de fluide, valuri etc.).

Emisia acustică, asociată diverselor fenomene, care se analizează pentru identificarea defectelor sau a unor posibile disfuncții este diferită în funcție evenimentul care o generează (prin *eveniment* de EA se înțelege apariția unei microdeplasări, angajând unde elastice tranzitorii). Astfel, *emisia acustică discretă* este emisia pentru care intervalul de timp între impulsuri este mai mare sau egal cu durata de creștere sau descreștere a lor. Este specifică apariției și creșterii fisurilor, *emisia acustică continuă* este emisia pentru care intervalul de timp între impulsuri este mai mic decât durata de creștere sau de atenuare a lor. Este specifică producerii deformațiilor.

11. ***Echipament de bază*** – un sistem folosit în examinarea nedistructivă prin analiza emisiei acustice conține un ansamblu de componente care asigură recepția (captarea), separarea, înregistrarea și analiza semnalelor de emisie acustică. În principal, sistemul cuprinde un aparat denumit defectoscop (fig. 1.49), unul sau mai mulți captori (traductori) și cabluri de legătură.

Traductorii (fig. 1.50) sunt dispozitive folosite pentru captarea semnalelor de emisie acustică și poartă denumirea de *captori* sau *senzori*. Ei convertesc undele elastice receptate, în semnale electrice, care se pot prelucra și înregistra. Cei mai folosiți captori sunt cei piezoelectrici care, constructiv, sunt foarte asemănători palpatoarelor normale, folosite în examinarea cu ultrasunete. Dintre caracteristicile

lor, două sunt mai importante în practică: frecvența (între 30 kHz și 1 MHz, uzual, între 100 și 300 kHz) și temperatura de lucru (- 40…600 °C).





Fig. 1.49. Defectoscoape pentru examinarea in sistem unicanal.



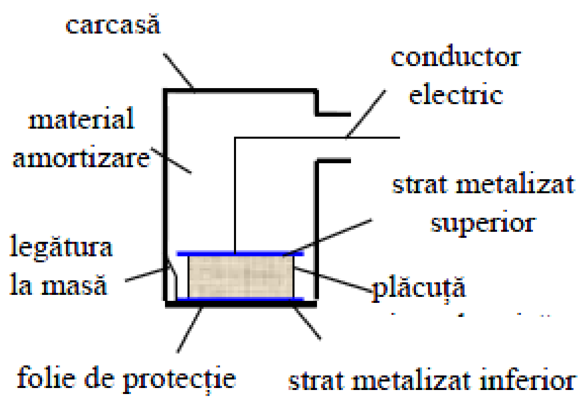


Fig. 1.50. Captori piezoeletrici.

Sistemul unicanal presupune utilizarea unui singur captor și un singur lanț (canal) de prelucrare și înregistrare a datelor. Un sistem unicanal permite o serie de aplicații din domeniul defectoscopiei nedistructive, ca de exemplu: înregistrarea momentului apariției fisurilor și a evoluției lor, detectarea scurgerilor la verificarea etanșeității produselor; monitorizarea proceselor de prelucrare, cu sesizarea apariției defectelor și modificarea accidentală a regimului de lucru (la sudare, prelucrarea prin așchiere, prelucrarea cu scântei electrice etc.).

Pentru localizarea surselor de emisie acustică sunt necesari mai mulți captori. Un astfel de sistem se numește multicanal (fig. 1.51). Aceste sisteme se utilizează în următoarele situații: pentru localizarea surselor de emisie acustică, pe baza diferenței dintre timpul de sosire a undelor la fiecare traductor în parte, deoarece sursele nu sunt poziționate la distanțe egale față de traductori și pentru tratarea în mod diferit a aceluiași semnal, în scopul de a obține noi informații despre sursa care l-a produs. Un soft adecvat permite interconectarea cu un PC prin care toate comenzile pot fi transferate ordinatorului, iar datele înregistrate pot fi, de asemenea, transferate acestuia, în vederea prelucrării lor.

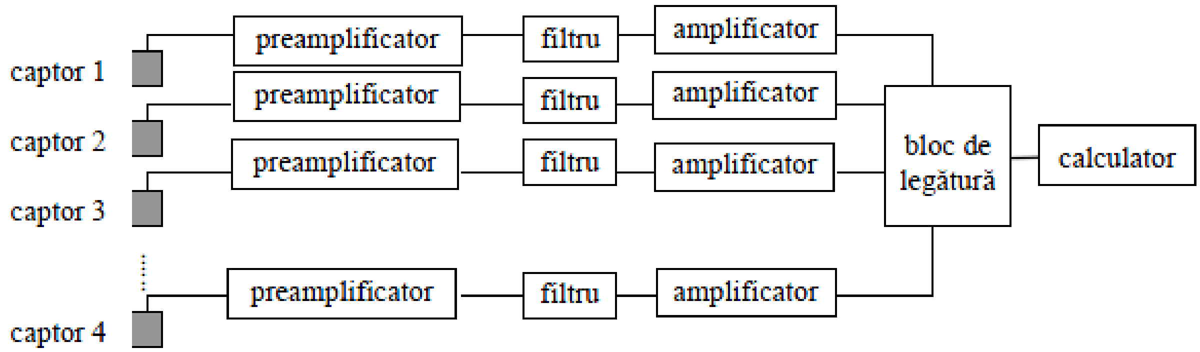


Fig. 1.51. Sistemul multicanal.

Uneori traductorii nu pot fi montați direct pe piesa sau materialul de controlat (piesa prelucrată se poate afla într-un mediu neizolat electric, activ din punct de vedere chimic sau la temperaturi foarte mari), între piesă și traductor se interpune o piesă sau un ansamblu care poartă numele de *ghid de undă* și care are rolul de a conduce undele de emisie acustică de la piesă la traductor, izolând în același timp traductorul.

12. ***Observații și recomandări***:

În ultimii ani, examinarea prin analiza emisiei acustice a căpătat o dezvoltare uimitoare ca urmare a progreselor spectaculoase înregistrate în electronică și în tehnica de calcul. În momentul de față, controlul prin emisie acustică se aplică în următoarele situații:

- ca metodă nedistructivă, la stabilirea nivelului calității unor produse, și anume: caracterizarea comportamentului materialelor metalice și nemetalice în cazul unor solicitări mecanice, termice, chimice; caracterizarea materialelor compozite; caracterizarea îmbinărilor lipite; stabilirea nivelului de calitate al cusăturilor sudate;
- la supravegherea proceselor de fabricare sau prelucrare a materialelor;
- la supravegherea proceselor de exploatare, ca de exemplu: controlul construcțiilor sudate; controlul recipientelor sub presiune; controlul aeronavelor spațiale.

Principalul dezavantaj al examinării prin emisie acustică este acela că semnalul este alcătuit dintr-un număr foarte mare de componente de frecvențe diferite, fiecare având amplitudini și faze inițiale diferite. Din aceste motive, decodificarea, în scopul identificării surselor care au produs emisia este extrem de dificilă. Din punct de vedere teoretic, există posibilitatea descrierii matematice a propagării undelor sonore și a stabilirii unor modele prin care să se decodifice semnalele recepționate. Pentru evitarea situațiilor confuze este necesară studierea atentă a unor produse cu defecte cunoscute și alcătuirea unei bănci de date cu tipurile de semnale provenite de la sursele cele mai frecvente posibile într-un anumit context (de exemplu, semnalul provenit de la amorsarea corectă a unui arc electric, sau semnalul provenit de la apariția unei fisuri longitudinale într-o cusătură sudată).